



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGROPECUARIAS**

**PROPUESTA PARA INCREMENTAR LA PRODUCTIVIDAD DE UNA  
FÁBRICA FUNDIDORA DE METALES, MEDIANTE LA DISMINUCIÓN DE LA  
VARIABILIDAD Y DESPERDICIOS, APLICANDO HERRAMIENTAS SIX  
SIGMA. CASO: JCR FUNDICIONES**

**Trabajo de titulación presentado en conformidad a los requisitos  
establecidos para optar por el título de**

**Ingeniera en Producción industrial**

**Profesor guía**

**Mat. Nelson Alomoto**

**Autora**

**Gabriela Bermúdez Zambrano**

**Año**

**2011**

## DECLARACIÓN DEL PROFESOR GUÍA

“Declaro haber dirigido este trabajo a través de reuniones periódicas con la estudiante, orientando sus conocimientos para un adecuado desarrollo del tema escogido, y dando cumplimiento a todas las disposiciones vigentes que regulan los Trabajos de Titulación.”

.....  
Nelson Alomoto

Matemático

CI.: 1705900262

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA DEL ESTUDIANTE

“Declaro que este trabajo es original, de mi autoría, que se han citado las fuentes correspondientes y que en su ejecución se respetaron las disposiciones legales que protegen los derechos de autor vigentes”

.....

Gabriela Bermúdez

CI.: 0802924829

## **AGRADECIMIENTO**

Mi eterno agradecimiento a Dios, a mis padres, familiares y amigos, que me apoyaron incondicionalmente durante la realización del trabajo. A mi director de tesis, Mat. Nelson Alomoto. Y a JCR Fundiciones, en especial a:

Ing. Yolanda Urgilés de Recalde

Gerente de ventas

Ing. Juan Carlos Recalde

Gerente General

Ing. Gustavo López

Jefe de producción

## **DEDICATORIA**

A mis padres y hermana, que han sido mi motivación durante todos mis estudios, y, principalmente durante la realización de éste trabajo. Especialmente a mi mamá, Dilia, que es mi ejemplo de vida y la persona que más admiro y amo.

**Gabriela**

## RESUMEN

En la actualidad, la capacidad de competir es lo que define el éxito o fracaso de una organización. El ser más productivo y eficiente es un factor crucial para estar un paso adelante de la competencia. Entre muchas otras, la metodología Seis Sigma es una alternativa que permite aumentar dicha capacidad de competir, basándose fundamentalmente en la reducción de la variabilidad existente en procesos de negocio, consiguiendo así mejorar y asegurar la calidad de un producto, y por ende logrando aumentar la satisfacción del cliente.

Otra de las ventajas de esta iniciativa es que, al ser aplicada correctamente, se podría llegar a la meta de producir 3,4 defectos por millón de oportunidades, lo que representa generar casi cero defectos, implicando naturalmente ahorros significativos en desechos y reprocesos.

El presente trabajo tiene como objetivo principal plantear una propuesta de mejora aplicada a una empresa fundidora de metales, mediante el empleo de la metodología *Seis Sigma*. Al aplicarla se lograría reducir la variabilidad en los procesos críticos para la organización. Y con esto, alcanzar los beneficios de calidad y ahorros antes mencionados.

La metodología aplicada se conoce como DMAIC (*Define, Measure, Analyze, Improve and Control*), que significan: *Definir, Medir, Analizar, Mejorar y Controlar*, siendo estos los pasos macro que comprenden diferentes herramientas para un proyecto Seis Sigma.

La presente investigación comprende únicamente los 3 pasos iniciales antes mencionados, no siendo considerados en el desarrollo del proyecto la implementación y control.

La investigación inicia con la definición de las variables críticas del proceso, es decir, aquellas que impactan de manera fuerte y directa en el desempeño del

proceso en sí. Posteriormente se obtienen mediciones de dichas variables para poder determinar la capacidad del proceso<sup>1</sup>.

Posteriormente, en la fase *Analizar*, se busca encontrar las causas a los problemas con la finalidad de plantear soluciones y consecuentemente un plan de mejora.

Finalmente se demuestra que la implementación de estas mejoras son viables para la empresa y convenientes en cuanto a la relación inversión – ahorro.

---

<sup>1</sup> Índice que refleja el desempeño del proceso.

## ABSTRACT

At present, the ability to compete is what defines the success or failure in an organization. Being more productive and efficient is crucial to be one step forward our competitors. Among many others, the Six Sigma methodology is an alternative that can increase this capacity to compete, fundamentally basing on the reduction of the variability that exists in the business processes, to achieve the improve and ensure a product quality, and therefore reaching to increase customer's satisfaction.

Another of this initiative advantages is that, when applied correctly, it could reach the goal of producing 3.4 defects per million opportunities, which represents to generate almost zero defects, naturally involving significant savings in rejected articles and rework.

This thesis has as its main objective to present an improvement proposal for the applied to a metal foundry company, using Six Sigma methodology. Its application may help decrease the variability in the organization critical processes. And with that, achieve the quality benefits and savings mentioned above.

The applied methodology is known as DMAIC, meaning: Define, Measure, Analyze, Improve and Control. These are the basic steps that include different tools to a Six Sigma project.

The present research contains the three firsts steps mentioned before, the steps *Improve* and *Control* are not being considered in the development of this project.

The research begins with the definition of the critical variables of the process, those that impact in a strong and direct way the process itself. Then the

measurements of these variables are obtained, to determine the process capability<sup>2</sup>.

Later, in the Analyze phase, the causes of the problems are searched to propose solutions and consequently an improvement plan.

Finally it is shown that to implement these improvements is feasible and desirable for the company in terms of investment – savings ratio.

---

<sup>2</sup> Index that reflects the performance of the process

## ÍNDICE

<b>ÍNDICE .....</b>	<b>1</b>
<b>ÍNDICE DE DIAGRAMAS .....</b>	<b>6</b>
<b>1. Capítulo I: Generalidades .....</b>	<b>3</b>
1.1 Descripción de la Empresa.....	3
1.2 Objetivo General.....	5
1.3 Objetivos Específicos .....	5
1.4 Alcance .....	6
1.5 Justificación .....	6
<b>2. Capítulo II: Marco teórico .....</b>	<b>8</b>
<b>2.1 Seis Sigma .....</b>	<b>8</b>
2.1.1 Antecedentes.....	8
2.1.2 ¿Qué es Seis Sigma? .....	9
2.1.3 Seis Sigma según Motorola.....	10
2.1.4 Seis Sigma según General Electric: .....	11
<b>2.2 Niveles de desempeño.....</b>	<b>12</b>
2.2.1 Capacidad del proceso .....	13
2.2.2 Niveles sigma y sus equivalencias.....	14
2.2.3 Los principios de Seis Sigma .....	16
2.2.4 Los seis principios del Seis Sigma: .....	17
<b>2.3 Proceso Seis Sigma .....</b>	<b>19</b>
2.3.1 Definir .....	19
2.3.2 Medir .....	20
2.3.3 Analizar .....	20
2.3.4 Mejorar .....	20
2.3.5 Controlar.....	20
<b>2.4 Herramientas de mejora.....</b>	<b>21</b>
2.4.1 <i>Lean Production / Manufacturing</i> .....	21
2.4.2 Desperdicio (mudá).....	22

2.4.3	Elementos clave del Sistema Lean:.....	24
2.4.4	Las Cinco Eses (5 S's) .....	25
2.4.5	Diagrama de Ishikawa .....	29
2.4.6	Diagrama de Arbol .....	29
<b>2.5</b>	<b>Hierro: Generalidades .....</b>	<b>31</b>
2.5.1	Fundiciones .....	33
2.5.2	Hierro Nodular .....	38
2.5.3	Elementos que influyen en la microestructura. ....	42
2.5.4	Proceso de inducción .....	43
2.5.5	Importancia del silicio en el hierro nodular.....	45
<b>3.</b>	<b>Capítulo III: Descripción de la Situación Actual. 47</b>	
3.1	Descripción de los procesos.....	47
3.1.1	Moldeo.....	47
3.1.2	Fundición.....	48
3.1.3	Terminados .....	49
3.2	Aplicación metodología Seis Sigma .....	50
3.2.1	Definir .....	50
3.2.1.1	Identificación de las características críticas.....	53
3.2.1.2	Definición de Parámetros de desempeño.....	55
3.2.1.3	Definición de procesos críticos.....	57
3.2.1.4	Diagrama SIPOC nivel macro .....	60
3.2.1.5	Project Chárter .....	60
3.2.2	Medir .....	62
3.2.2.1	Diagrama SIPOC detallado.....	62
3.2.2.3	Capacidad del proceso .....	64
3.2.2.4	Analizar .....	77
<b>4.</b>	<b>Capítulo IV: Descripción de la propuesta de mejora.....</b>	<b>83</b>
4.1.	Búsqueda de soluciones primarias: Diagrama de árbol.....	83
4.1.1.	Garantizar La producción de Arena de Calidad .....	84
4.1.2.	Garantizar la Producción de metal de Calidad .....	85

4.1.3.	Consideraciones prácticas para implantar la mejora .....	86
4.2.	Cronograma.....	91
5.	<b>Capítulo V: Estudio económico .....</b>	<b>93</b>
5.1	Determinación de costos totales .....	93
5.2	Estimación ahorros.....	94
6.	<b>Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones</b>	<b>98</b>
6.1	Conclusiones.....	98
6.2	Recomendaciones.....	100
	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>101</b>
7.	<b>ANEXOS .....</b>	<b>103</b>

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1.1: Ubicación JCR Fundiciones .....	5
Ilustración 2.1: Niveles de desempeño.....	12
Ilustración 2.2: Hierro Alfa .....	31
Ilustración 2.3: Hierro Gamma.....	32
Ilustración 2.4: Hierro Delta .....	32
Ilustración 2.5: Microestructura de la Fundición Nodular.....	40
Ilustración 2.6: Diagrama Hierro-Carbono .....	41
Ilustración 2.7: Horno de Inducción .....	43
Ilustración 3.1: Moldeo .....	48
Ilustración 3.2: Fundición .....	49
Ilustración 3.3: Histograma Humedad de la Arena .....	65
Ilustración 3.4: Sixpack de la Capacidad de Humedad de la Arena .....	66
Ilustración 3.5: Análisis de Capacidad para Humedad de la Arena .....	67
Ilustración 3.6: Histograma Resistencia de la Arena .....	68
Ilustración 3.7: Sixpack de la capacidad del proceso Resistencia de la Arena	69
Ilustración 3.8: Análisis de capacidad para Resistencia de la Arena.....	70
Ilustración 3.9: Histograma Temperatura del Metal Fundido .....	71
Ilustración 3.10: Sixpack de la capacidad del proceso Temperatura del metal fundido .....	72
Ilustración 3.11: Análisis de la capacidad del proceso Temperatura del metal fundido .....	73
Ilustración 3.12: Histograma Porcentaje de Silicio .....	74
Ilustración 3.13: Sixpack de la capacidad del proceso Porcentaje de Silicio ....	75
Ilustración 3.14: Análisis de la capacidad del proceso porcentaje de Silicio ....	76

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Niveles Sigma y sus equivalencias.....	14
Tabla 2.2: Comparaciones de Niveles Sigma.....	15
Tabla 2.3: Clasificación de la Fundición Nodular según la norma ASTM-A-536	40
Tabla 2.4: . Elementos Estabilizadores de Carburos y Perlita.....	43
Tabla 3.1: Escala de puntuación .....	50
Tabla 3.2: Priorización de Criterios .....	51
Tabla 3.3: Priorización Criterio A.....	51
Tabla 3.4: Priorización Criterio B.....	52
Tabla 3.5: Priorización Criterio C.....	52
Tabla 3.6: Priorización Criterio D.....	52
Tabla 3.7: Matriz Síntesis .....	53
Tabla 3.8: Puntuación IIC-GNC.....	54
Tabla 3.9: Priorización CTS.....	55
Tabla 3.10: Priorización CTY's .....	57
Tabla 3.11: Priorización CTX's .....	59
Tabla 3.12: Project Charter .....	61
Tabla 3.13: Resumen de la situación actual.....	77
Tabla 5.1: Costos totales de la propuesta de mejora .....	93
Tabla 5.2: Comparación inversión vs Ahorro mensualooioi .....	95
Tabla 5.3 Relación inversión- ahorro.....	96

## ÍNDICE DE DIAGRAMAS

Diagrama 1.1: Cadena de valor JCR Fundiciones .....	4
Diagrama 2.1: Proceso Seis Sigma.....	19
Diagrama 2.2: Implicaciones sobre la Producción.....	23
Diagrama 2.3: Elementos del Sistema Lean de Producción .....	24
Diagrama 2.4: Diagrama de Ishikawa .....	29
Diagrama 2.5: Diagrama de Árbol .....	30
Diagrama 3.1: Características Críticas para la Satisfacción.....	54
Diagrama 3.2: Factores CTY.....	56
Diagrama 3.3: Factores CTX.....	58
Diagrama 3.4: SIPOC Macro.....	60
Diagrama 3.5: Identificación de causas de humedad excesiva de la arena .....	78
Diagrama 3.6: Identificación de causas de poca resistencia de la arena .....	79
Diagrama 3.7 Identificación de causas para temperatura incorrecta de colada	80
Diagrama 3.8: Identificación de causas de contenido incorrecto de silicio .....	81
Diagrama 3.9: Dispersión entre Humedad y Resistencia .....	82
Diagrama 4.1: Generación de soluciones para producir arena con humedad y resistencia correcta .....	84
Diagrama 4.2: Generación de soluciones para producir metal con temperatura y composición correcta .....	85
Diagrama 4.3: Cronograma de evaluación e implementación de la propuesta de mejora .....	91
Diagrama 5.1: Producción conforme y defectuosa.....	94

## Introducción

La competitividad empresarial en los actuales momentos es determinante para el éxito. De mano de la tecnología y la información globalizada, las fronteras físicas desaparecen. El intercambio de bienes, servicios e información a nivel mundial crece a pasos agigantados. Para entrar y permanecer en vía rápida del comercio se debe cumplir estrictamente con innumerables requisitos legales, pero aún más se debe cumplir y superar las expectativas del cliente. De esto dependerá si una organización perdura o fracasa en la competencia de mercado, por lo tanto, ser competitivos se vuelve un asunto de vida o muerte en el campo corporativo.

La industria es un motor de progreso, y está sometida a constantes cambios e innovaciones gracias a la imparable investigación. El estar funcionando bajo tantos cambios, que se dan prácticamente a cada momento, convierte a la industria pequeña en candidata a quedar rezagada frente a los monstruos transnacionales que tienen en sus manos todos los recursos para mantenerse al día.

Es por esto que en el campo industrial el buscar ser perfectos es crucial para poder competir, o por lo menos para mantenerse a flote, pero, el buscar la perfección muchas veces resulta difícil y caro, si se trata de mantener a la organización con tecnología de vanguardia. La buena noticia es que la adquisición de tecnología de punta no es la única forma de buscar la perfección.

La más importante manera de trascender como empresa es mantener satisfechos a los accionistas y principalmente a los clientes. Esto es algo que los directivos industriales deben tenerlo muy claro como principal objetivo organizacional. Para tener clientes satisfechos ya no solo es necesario entregarles los productos y/o servicios que requieren, sino también superar sus requisitos mediante algún producto ó servicio que

motive su compra. Por otra parte, para mantener a los accionistas satisfechos lo único que se debe hacer es aumentar sus ingresos, lo que puede sonar sencillo, sin embargo, lograr estos dos objetivos llega a ser la debilidad de la mayoría de las empresas ecuatorianas.

Una manera para lograr la satisfacción de ambas partes, clientes y accionistas, es mediante la aplicación de la metodología Seis Sigma, la cual se enfoca principalmente en:

1. Reducir la variación inherente de los procesos para asegurar la calidad del producto ó servicio incrementando la satisfacción del cliente.
2. Reducir desperdicios, reprocesos, y defectos, lo cual se traduce en ahorro económico, incrementando la satisfacción de los accionistas.

El presente trabajo trata precisamente de generar una propuesta de mejora, basado en la metodología Seis Sigma, para aumentar la calidad de los productos y reducir los desperdicios en general.

# 1. Capítulo I: Generalidades

## 1.1 Descripción de la Empresa

La fundidora de metales JCR, tiene como misión la fabricación de elementos constituidos por hierro nodular, hierro gris, aluminio, cobre y bronce. Su principal objetivo es satisfacer y superar las expectativas de sus clientes. Su actividad actual está enfocada principalmente en la fabricación de piezas en hierro gris y hierro nodular, produciendo principalmente tapas de alcantarilla, cajas para medidores, sumideros, entre otros.

Esta fundidora tiene 23 años en el mercado, tiempo en el que ha sido seleccionado como proveedor en grandes contratos para empresas de telefonía, inmobiliarias, agua potable y alcantarillado en varias provincias del Ecuador.

Sus proyecciones a futuro son: Ser la empresa líder en el mercado nacional, y posteriormente incursionar en el mercado internacional, en la fabricación de productos para alcantarillado, telefonía y agua potable, con procesos estandarizados y de alta calidad, siempre buscando la protección al ambiente y el bienestar de sus colaboradores, trabajando bajo normas de regulación nacionales e internacionales.

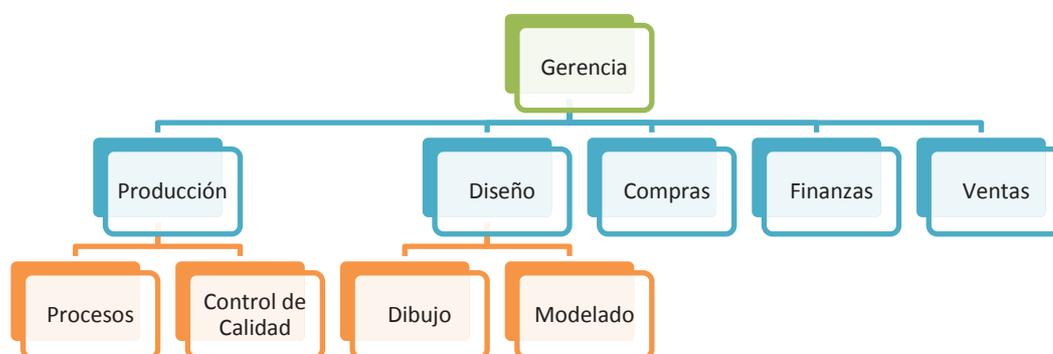
La fundidora está localizada en Sangolquí, y principalmente produce bajo pedidos. Cuenta con una capacidad instalada que le permite producir 120 toneladas de hierro nodular y 50 de hierro gris al mes. La cadena de valor de JCR Fundiciones y su organigrama se presentan a continuación:

Diagrama 1.1: Cadena de valor JCR Fundiciones



Fuente: Autora

Diagrama 1.2: Organigrama JCR Fundiciones



Fuente: Autora

Para cumplir con las expectativas de crecimiento, es necesario aumentar la productividad y disminuir desperdicios. Por esta razón, la presente investigación centrará sus esfuerzos en el área de producción, el cual abarca: moldeo, fundición y terminados. Adicionalmente, es necesario implementar mejoras debido a que en la actividad productiva se han presentado algunos inconvenientes como devoluciones de producto terminado, consumo excesivo de tiempo, desperdicio de material, entre otros.

Ilustración 1.1: Ubicación JCR Fundiciones



Fuente: Autora

## 1.2 Objetivo General

Proponer un plan de mejora en los procesos productivos de JCR Fundiciones, mediante el estudio y análisis de las variables que intervienen en el proceso de fundición de hierro nodular, empleando las herramientas de la metodología Seis Sigma.

## 1.3 Objetivos Específicos

- Elaborar los diagramas que permitan conocer los procesos de la empresa, para así facilitar la identificación y secuencia de los mismos.
- Aplicar la metodología Seis Sigma para desarrollar una propuesta que permita:
  - Disminuir desperdicios para lograr mayor eficiencia en el proceso de fundición de hierro nodular.

- Reducir la variabilidad del proceso para minimizar la cantidad de defectos y lograr las características de calidad que el cliente requiere.
- Lograr un ahorro económico significativo, demostrándolo mediante el análisis costo beneficio.
- Realizar el análisis de causa efecto en los procesos productivos, para encontrar las causas raíz de los principales problemas.
- Estudiar los factores claves y sus indicadores para proponer los cambios necesarios dentro del proceso.

## **1.4 Alcance**

Las áreas que intervendrán en la realización del trabajo de las cuales depende la calidad de los productos son:

1. Moldeo.
2. Fundición.
3. Acabados

También son importantes los estudios en el laboratorio, para analizar propiedades como resistencia de los moldes, calidad del metal, etc.

El estudio propuesto va desde la definición del problema, mediciones de variables críticas, análisis, mejoramiento y control. Estos son los pasos principales requeridos para un estudio Seis Sigma y con la correcta aplicación de estos se debe conseguir los beneficios mencionados anteriormente.

## **1.5 Justificación**

La aplicación de este trabajo se justifica principalmente en que, la metodología Seis Sigma permite la reducción casi total de defectos en los procesos. Esto se debe a que dicha herramienta de mejora analiza las

causas de los problemas, y solucionándolos se disminuye significativamente la variabilidad en el proceso. Como consecuencia se aseguraría la calidad del producto terminado y por ende se reducirían las devoluciones, los reprocesos, los desperdicios, y en general se lograría alcanzar la fluidez casi perfecta del proceso en general. Y, todos los beneficios antes mencionados reflejarán ahorro económico.

## 2. Capítulo II: Marco teórico

### 2.1 Seis Sigma

#### 2.1.1 Antecedentes

Desde la década de 1920 la palabra "sigma"<sup>3</sup> ha sido utilizada por matemáticos e ingenieros como símbolo de una unidad de medida en la variación de la calidad del producto.

A mediados de 1980, ingenieros de Motorola Inc. en los EE.UU. emplearon el nombre informal "Seis Sigma"<sup>4</sup>, como una iniciativa en la empresa para reducir los defectos en los procesos de producción, ya que representaba un nivel adecuado de calidad.

Ciertos ingenieros (existen diversas opiniones sobre si el primero fue Bill Smith o Mikal Harry) pensaron que medir los defectos en términos de miles, era un estándar insuficientemente riguroso. De ahí que ellos aumentaron la escala de medición a partes por millón, descrito como "defectos por millón, lo que llevó al uso de la terminología "seis sigma" y la adopción de las mayúsculas en el nombre de marca "Seis Sigma ", ya que seis sigma se considerará que equivale a 3,4 partes o defectos por millón.

A finales de 1980 tras el éxito de la iniciativa mencionada, Motorola amplió el método Seis Sigma a sus procesos de negocio críticos, y "Seis Sigma" se convirtió en el nombre formal interno de la marca, de una metodología para mejora del rendimiento, es decir, más allá de la pura "reducción de defectos", en Motorola Inc. En 1991 Motorola certificó su primer experto Seis Sigma Black Belt, lo que indica el comienzo de la formalización de la instrucción acreditada de los métodos de Seis Sigma.

---

<sup>3</sup> De manera intencional se escribe "sigma" en minúscula, ya que en el contexto descrito es usado como una unidad genérica de medición.

<sup>4</sup> En el contexto indicado, "Sigma" está escrito con mayúscula debido a que Seis Sigma es una marca para la iniciativa de Motorola.

En 1991 también, Allied Signal, (una gran empresa de productos de aviónica que se fusionó con Honeywell en 1999), adoptó los métodos Seis Sigma, y obtuvo mejoras significativas y ahorro de costes en un período de seis meses. Al parecer, el nuevo consejero delegado de Allied Signal, Lawrence Bossidy, aprendió del trabajo de Motorola con Six Sigma y enfocó al director ejecutivo de Motorola Bob Galvin para que aprenda cómo se podría utilizar en Allied Signal.

En 1995, el director ejecutivo de General Electric, Jack Welch, decidió implementar Seis Sigma en GE, y para 1998 GE afirmó que Seis Sigma había generado más de tres cuartos de billón de dólares de ahorro de costos. Welch conocía a Bossidy desde que Bossidy trabajó para él en General Electric, y Welch estaba impresionado por los logros de Bossidy utilizando Seis Sigma.

A mediados de los años 90, Seis Sigma se había convertido en una iniciativa y metodología de administración corporativa 'de marca' y transferible, notable no sólo en General Electric y otras empresas manufactureras grandes, sino también entre organizaciones ajenas al sector manufacturero. Para el año 2000, Seis Sigma se estableció efectivamente como una industria por derecho propio, incluyendo la formación, consultoría e implementación de la metodología Seis Sigma en todo tipo de organizaciones alrededor del mundo, es decir, que en poco más de diez años, Seis Sigma rápidamente se convirtió no sólo en una metodología muy popular que usarían muchas empresas para lograr calidad y mejora de procesos, sino que también Seis Sigma se convirtió en el tema de los productos de consultoría, capacitación y servicios en torno a los cuales se han desarrollado muchas organizaciones de apoyo en Seis Sigma.

### **2.1.2 ¿Qué es Seis Sigma?**

Según el departamento de comercio e industria del Reino Unido, Seis Sigma se define como *“Un método manejado por datos para la consecución casi perfecta*

*de la calidad. El análisis Seis Sigma puede centrarse en cualquier elemento de la producción o servicios, y tiene un énfasis fuerte en el análisis estadístico en diseño, manufactura y actividades relacionadas a la satisfacción del cliente.”<sup>5</sup>*

### 2.1.3 Seis Sigma según Motorola

Seis Sigma ha evolucionado durante las últimas dos décadas, y también la ha hecho su definición. Seis Sigma tiene definiciones literales, conceptuales y prácticas. En la Universidad Motorola (División de entrenamiento y consultoría Seis Sigma de Motorola) piensan sobre Seis Sigma en tres niveles diferentes:

- Como una métrica.
- Como una metodología.
- Como un sistema de administración.

En esencia Seis Sigma es las tres al mismo tiempo.

**Seis Sigma como métrica:** El término “Sigma” es usado a menudo como una escala para describir niveles de calidad. Usando esta escala, Seis Sigma equivale a 3.4 defectos por millón de oportunidades (DPMO). Para ello, Seis Sigma empezó como un esfuerzo para reducir defectos en la manufactura, y después fue aplicada a otros procesos de negocio con el mismo propósito.

**Seis Sigma como metodología:** A medida que Seis Sigma ha ido evolucionado, ha habido menor énfasis en la definición literal de 3.4 DPMO, ó contar defectos en productos y procesos. Seis Sigma es una metodología de mejoramiento de negocios, que enfoca una organización a:

- Entender y manejar los requerimientos de los clientes.
- Alinear los procesos clave del negocio para alcanzar esos requisitos.
- Utilizar el análisis riguroso de los datos para minimizar la variación en los procesos
- Conducir una mejora rápida y sostenible en los procesos del negocio.

---

<sup>5</sup> (<http://www.businessballs.com/sixsigma.htm>)

En el corazón de la metodología está el modelo DMAIC para el mejoramiento de los procesos. DMAIC es comúnmente usado por los equipos de proyecto Seis Sigma, y es el acrónimo de:

- **Define:** Definir oportunidades.
- **Measure:** Medir el desempeño.
- **Analyze:** Analizar oportunidades.
- **Improve:** Mejorar el desempeño.
- **Control:** Controlar el desempeño.

***Seis Sigma como un sistema de administración:*** A través de la experiencia, Motorola ha aprendido que el uso disciplinado de la métrica y la aplicación de la tecnología todavía no es suficiente para conducir las mejoras progresivas deseadas y resultados sostenibles en el tiempo. Para el gran impacto, Motorola se asegura de que la métrica y la metodología se apliquen a las oportunidades de mejora que están directamente conectadas con la estrategia organizacional. Cuando fue practicada como un sistema administrativo, Seis Sigma se convirtió en un sistema de alto desempeño para la ejecución de estrategias de negocio.<sup>6</sup>

#### **2.1.4 Seis Sigma según General Electric:**

Seis Sigma es un proceso altamente disciplinado que ayuda a enfocarnos en desarrollar y entregar productos y servicios casi perfectos.

¿Por qué sigma? La palabra es un término estadístico que mide cuán lejos está un proceso determinado de la perfección. La idea central detrás de Seis Sigma es que si se puede medir cuántos defectos se tienen en un proceso, sistemáticamente es posible darse cuenta cómo eliminarlos, y llegar lo más cerca posible a 'cero defectos'.

Para alcanzar la calidad Seis Sigma, un proceso debe producir no más de 3,4 defectos por millón de oportunidades. Una 'oportunidad' se define como una posibilidad para no conformidad, o no cumplir con las especificaciones

---

<sup>6</sup> (CHAPMAN, 2005)

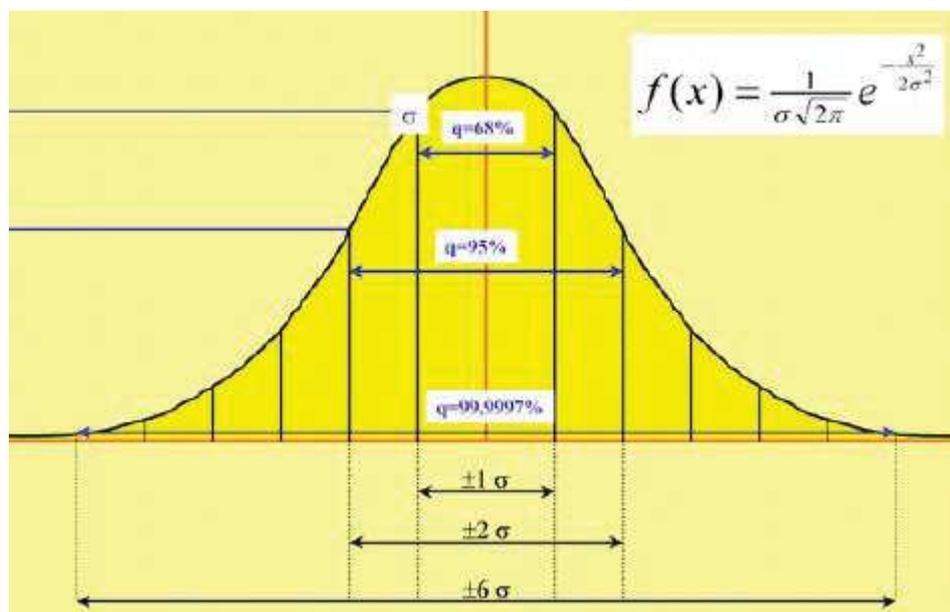
requeridas. Esto significa que tenemos que ser casi perfectos en la ejecución de nuestros procesos clave.

En su esencia, Seis Sigma se centra en unos pocos conceptos clave:

- Crítico para la calidad: Atributos más importantes para el cliente.
- Defecto: El no poder entregar lo que el cliente quiere.
- Capacidad del proceso: Lo que el proceso puede ofrecer.
- Variación: Lo que el cliente ve y siente.
- Operaciones estables: Asegurar la consistencia, procesos predecibles para mejorar lo que el cliente ve y siente.
- Diseño para Seis Sigma: Diseño para satisfacer las necesidades del cliente y la capacidad del proceso.<sup>7</sup>

## 2.2 Niveles de desempeño

Ilustración 2.1: Niveles de desempeño



Fuente: (Win, 2007)

<sup>7</sup> (CHAPMAN, 2005)

Se entiende por nivel de desempeño al nivel sigma que un proceso tiene, es decir, cuántas desviaciones estándar el proceso se aleja de la media. Esta medida nos permite conocer la cantidad de defectos que son generados en un proceso.

### 2.2.1 Capacidad del proceso

La capacidad de un proceso es la relación entre la tolerancia especificada y la tolerancia natural del proceso.

$$C_p = \frac{\textit{Tolerancia\_especificada}}{\textit{Tolerancia\_natural}} = \frac{LSE - LIE}{6\sigma}$$

Siendo LSE el límite superior de control, y LIE el límite inferior de control.

En la mentalidad empresarial el objetivo es mantenerse dentro de los límites de especificación, esta mentalidad produce que regularmente el Cp de las organizaciones esté entre 1 y 1,33. Si la empresa está lejos de alcanzar este Cp, es en este punto donde se desperdician las oportunidades de mejora y no se toma en cuenta la satisfacción del cliente. Éste debería percibir el cumplimiento de sus requisitos, por lo cual correspondería centrar los esfuerzos de las organizaciones en reducir la variabilidad de los procesos.

Un proceso Seis Sigma tiene una capacidad, Cp=2, si la media está centrada con el valor nominal, en el que se debería tener máximo 0,001 dpmo de defecto.

#### 2.2.1.1 Índice Cpk

Éste índice evalúa el desplazamiento de la media en relación a la tolerancia.<sup>8</sup>

Para desplazamiento en dirección hacia el límite superior:

$$Cpk = \frac{LSE - \mu}{3\sigma}$$

Para desplazamiento en dirección hacia el límite inferior:

$$Cpk = \frac{\mu - LIE}{3\sigma}$$

### 2.2.2 Niveles sigma y sus equivalencias

La tabla a continuación muestra los niveles sigma de mayor relevancia y sus equivalencias en partes por millón defectuosas.

Tabla 2.1: Niveles Sigma y sus equivalencias

Nivel Sigma	Defectos por millón
6	3,4
5	233
4	6 210
3	66 807
2,5	158 655
2	308 538
1,5	500 000
1,4	539 828
1,3	579 260
1,2	617 911
1,1	655 422
1	692 462
0,5	841 345
0	933 193

Fuente: (CORREA DE MOURA, Formación de especialistas Six Sigma Green Belt, 2009)

<sup>8</sup> (CORREA DE MOURA, Formación de especialistas Six Sigma Green Belt, 2009)

Para comprender mejor la magnitud de la diferencia entre los distintos niveles sigma, en distintos campos se tiene las comparaciones de la tabla siguiente:

**Tabla 2.2: Comparaciones de Niveles Sigma**

Sigmas	Área	Ortografía	Tiempo	Distancia
1	Área de piso en una fábrica promedio	170 palabras mal escritas por página en un libro.	31,25 años por siglo	De la tierra a la luna
2	Área de piso de un mercado grande	25 palabras mal escritas por página en un libro.	4,5 años por siglo	1,5 veces la vuelta al mundo.
3	Área de piso de una pequeña tienda	1,5 palabras mal escritas por página en un libro.	3,5 meses por siglo	De la costa oeste a la costa este de los EEUU
4	Área de piso de la sala de una casa	1 palabra mal escrita por cada 30 páginas de un libro	2,5 días por siglo	45 minutos de viaje en tren.
5	Área de la base de un teléfono	1 palabra mal escrita en un conjunto de enciclopedias	30 minutos por siglo	Un viaje a la estación de gasolina.
6	Tamaño de un diamante típico	1 palabra mal escrita en todos los libros en una pequeña biblioteca	6 segundos por siglo	4 pasos en cualquier dirección
7	Punta de una aguja de coser	1 sola palabra mal escrita en todos los libros en varias bibliotecas grandes	Un pestañeo en un siglo	3 mm

Fuente: (QUESADA M.)

Un nivel de calidad de 3,4 defecto por millón, puede lograrse de al menos tres diferentes formas:

- Con un descentramiento de 0,5 desviaciones estándar con un nivel de calidad de 5 sigmas,
- Con un descentramiento de 1 desviación estándar y un nivel de calidad de 5,5 sigma, ó bien;
- Con un descentramiento de 1,5 desviaciones estándar con un nivel de "Calidad de 6 sigmas".

### **2.2.3 Los principios de Seis Sigma**

La filosofía Seis Sigma busca ofrecer mejores productos o servicios, de una manera cada vez más rápida y a más bajo costo, mediante la reducción de la variación de cualquiera de los procesos. Aunque a muchas personas les ha costado entender, una de las grandes enseñanzas del Dr. Deming fue buscar el control en la variación de los procesos lo cual es medido por medio de la desviación estándar. Decía el Dr. Deming: *“el enemigo de todo proceso es la variación, por lo que es ahí en donde debemos concentrar el esfuerzo hacia la mejora continua”,* pero sobre todo porque *“variación es el enemigo de la satisfacción de nuestros clientes”*.<sup>9</sup>

#### **2.2.3.1 Variación**

Se entiende por variación a la inexactitud, a la diferencia entre el valor requerido y el valor obtenido. Toda variación se debe a algo, y si se tiene un conjunto de resultados originado por el mismo grupo de causas, tienden a seguir un patrón, volviéndose previsible. Cuando el grupo de causas es afectado externamente, el patrón de variación se altera.

---

<sup>9</sup> (QUESADA M.)

### **Causas comunes de variación**

Las causas normales de variación corresponden a la sumatoria del efecto de muchas causas pequeñas que están presentes en el proceso, afectan a todos los resultados y hacen que el proceso tenga un comportamiento previsible, con datos tendientes a formar una distribución bien definida. No es posible eliminar todas las pequeñas causas, pero se puede aislar el efecto de algunas diseñando experimentos.

Cuando un proceso se encuentra operando únicamente bajo el efecto de las causas comunes, se dice que el proceso está “bajo control”. En los procesos bajo control, la gran mayoría de los valores están cerca de la media, presentando pocos valores cercanos a los límites de control, y ningún valor, o esporádicamente uno está fuera de dichos límites.

### **Causas especiales de variación**

Son causas ajenas a las comunes, se presentan ocasionalmente y afectan sólo a algunos resultados. Pueden ser fácilmente identificadas y eliminadas. Éste tipo de causas generan una alteración en la distribución natural del proceso, lo cual lo hace inestable e imprevisible.

Los procesos “fuera de control” presentan muchos valores fuera de los límites de control originando la falta de puntos cerca a la línea central. Las causas especiales de variación deben ser eliminadas inmediatamente y la solución a estas es generalmente sencilla.<sup>10</sup>

#### **2.2.4 Los seis principios del Seis Sigma:**

**Principio 1:** Enfoque genuino en el cliente

---

<sup>10</sup> (CORREA DE MOURA, Formación de especialistas Six Sigma Green Belt, 2009)

El enfoque principal es dar prioridad al cliente. Las mejoras Seis Sigma se evalúan por el incremento en los niveles de satisfacción y creación de valor para el cliente.

**Principio 2:** Dirección basada en datos y hechos

El proceso Seis Sigma se inicia estableciendo cuales son las medidas claves a medir, pasando luego a la recolección de los datos para su posterior análisis. De tal forma los problemas pueden ser definidos, analizados y resueltos de una forma más efectiva y permanente, atacando las causas raíces o fundamentales que las originan, y no sus síntomas.

**Principio 3:** Los procesos están donde está la acción

Seis Sigma se concentra en los procesos. Al dominar un proceso, se lograrán importantes ventajas competitivas para la empresa.

**Principio 4:** Dirección proactiva

Ello significa adoptar hábitos como definir metas ambiciosas y revisarlas frecuentemente, fijar prioridades claras, enfocarse en la prevención de problemas y cuestionarse acerca del por qué se hacen las cosas de la manera en que se hacen.

**Principio 5:** Colaboración sin barreras

Debe ponerse especial atención en derribar las barreras que impiden el trabajo en equipo entre los miembros de la organización, logrando de tal forma mejorar la comunicación y el flujo en las labores.

**Principio 6:** Busque la perfección

Las compañías que aplican Seis Sigma tienen como meta lograr una calidad que tienda a la perfección, estando dispuestas a aceptar y manejar reveses ocasionales. <sup>11</sup>

---

<sup>11</sup> (LEFCOVICH, 2003)

## 2.3 Proceso Seis Sigma

Diagrama 2.1: Proceso Seis Sigma



Fuente: (CORREA DE MOURA, Formación de especialistas Six Sigma Green Belt, 2009)

### 2.3.1 Definir

En la fase definir el equipo es formado, se crea un Charter, los clientes, sus necesidades y requerimientos son determinados y verificados, y finalmente un mapa macro del proceso es creado.

Se especifican las características más importantes para la satisfacción del cliente, y los procesos que intervienen para conseguir esas características. En esta parte se deben identificar y priorizar las principales fallas o errores que se originan en el proceso.

Para identificar los errores más importantes se utilizan herramientas como la matriz de priorización o el diagrama de Pareto.

### **2.3.2 Medir**

En este segundo paso el nivel sigma de desempeño es calculado. Esto se consigue creando y ejecutando un plan para la toma de datos. En esta etapa se realizan mediciones de los factores determinados en la fase “Definir”. Para esto es necesario primero mapear el proceso para tener una idea clara del flujo, identificando aquellos pasos del proceso en donde se van a realizar dichas mediciones, para determinar la capacidad actual del proceso.

En esta fase se utilizan diferentes herramientas estadísticas y aplicaciones de software para graficar los datos y poder visualizar de manera clara el desempeño de los procesos.

### **2.3.3 Analizar**

En esta parte etapa del DMAIC se obtienen las causas de los problemas, para lo cual es necesario interpretar las mediciones tomadas y los gráficos contruidos a partir de las mediciones. El análisis de la información tiene como objetivo encontrar las causas raíz de los problemas y la razón del bajo desempeño del proceso. Para el cumplimiento de esta etapa se utilizan herramientas como el diagrama de causa y efecto, diagrama de dispersión, análisis de fallas potenciales, entre otros. Cabe indicar que el análisis es la parte más importante para el éxito de un proyecto Seis Sigma.

### **2.3.4 Mejorar**

En esta fase el equipo genera y selecciona un grupo de soluciones para mejorar el nivel sigma del proceso. Después de ser encontradas las causas de los problemas, se procede a proponer soluciones e implementarlas al proceso. Para encontrar las mejoras se utilizan el diagrama de afinidades, la nube de conflicto, diagrama de árbol, entre otros.

### **2.3.5 Controlar**

En esta etapa un grupo de herramientas y técnicas son aplicadas en el proceso recientemente mejorado con la finalidad de que el nivel sigma alcanzado se mantenga en el tiempo y se verifica que los resultados obtenidos fueron los deseados o los planificados según los objetivos planteados. Para garantizar la continuidad del desempeño en el proceso mejorado, se deben aplicar controles o herramientas de monitoreo y estandarización. Para estandarizar el DMAIC se deberá capacitar al personal involucrado en la mejora, así mismo se podrían aplicar otras acciones como automatización de algunos procesos, 5s's, Poka Yoke<sup>12</sup>, etc.<sup>13</sup>

## **2.4 Herramientas de mejora**

### **2.4.1 Lean Production / Manufacturing**

El término *Lean* significa delgado, magro, enjuto, sin grasa. De ahí que la traducción más cercana para *Lean Production/Manufacturing* es Producción/Manufactura Esbelta.

Es un conjunto de principios, conceptos y técnicas que permiten crear un sistema eficiente a fin de reducir el tiempo entre la colocación del pedido y la entrega del producto o servicio, a través de la eliminación del desperdicio, permitiendo un flujo continuo del producto o servicio.

- Es un conjunto de disciplinas que han contribuido significativamente al denominado “Milagro Japonés”
- La Producción o Manufactura Esbelta nació en Japón inspirada en los principios de William Edwards Deming y se llamó “Toyota Production System”
- La industria automotriz americana tuvo que adoptar este sistema a fin de mantenerse competitiva.

---

<sup>12</sup> Dispositivo de control destinado a evitar los errores, “a prueba de errores” según su traducción literal del japonés.

<sup>13</sup> (CORREA DE MOURA, Formación de especialistas Six Sigma Green Belt, 2009)

- Hoy, 100% de estas plantas operan bajo alguna variación de este sistema, siendo la única alternativa inteligente para permanecer dentro de la actividad.
- Los conceptos y principios de Lean Manufacturing se han difundido en todas los sectores de la industria manufacturera generando beneficios de reducción de inventarios, reducción de tiempos de ciclo, incremento en el cumplimiento de órdenes a clientes e incremento en utilidades.

Es esencialmente una filosofía que se enfoca en crear actividades de valor agregado para el cliente, la identificación y eliminación sistemática del desperdicio y la mejora continua en ambientes de fabricación para aumentar la productividad. El enfoque principal son las actividades de valor agregado para el cliente, mientras que la eliminación de los desperdicios y la mejora continua son consecuencias de esto.

*“Lo que hacemos es permanecer de ojo en la línea de tiempo, desde que el cliente coloca el pedido hasta recibir el dinero. Y vamos reduciendo esa línea por medio de la eliminación de los desperdicios que no agregan valor”.*

Taiichi Ohno (1912 – 1990)

“Padre” del Sistema de Producción Toyota<sup>14</sup>

#### **2.4.2 Desperdicio (mudá)**

Es cualquier cosa que no sea lo mínimo absolutamente necesario de equipos, materiales, espacio y esfuerzo, para crear valor para el cliente. Solo crean valor para el cliente aquellas actividades que transforman el ítem ó aquellas por las que el cliente está dispuesto a pagar. Toda actividad que no crea valor es un desperdicio.

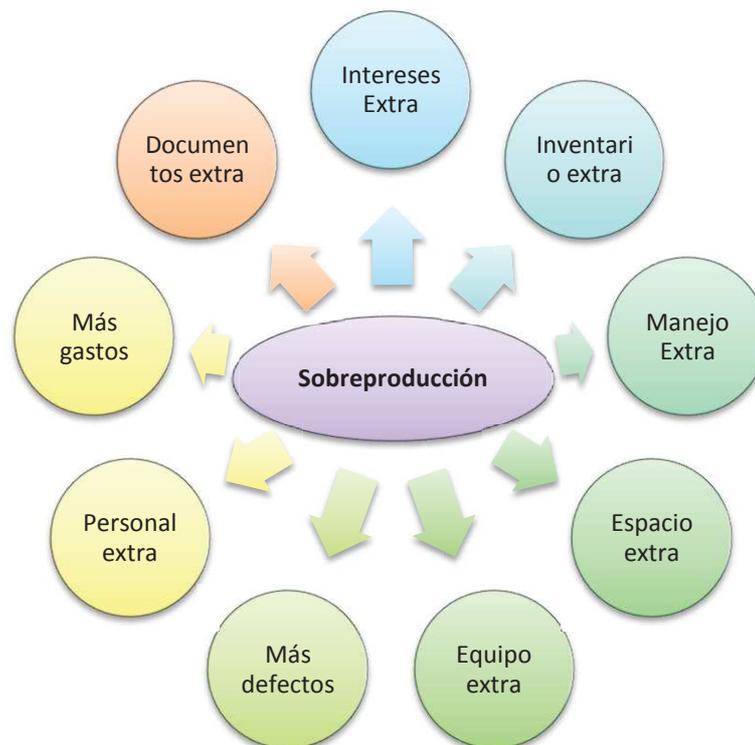
---

<sup>14</sup> (PAREDES R., 2009)

## Los siete desperdicios mortales

1. **Sobreproducción:** Producir o procesar mayor cantidad, o más temprano, o más rápido de lo que requiere el cliente final o el cliente interno. La sobreproducción genera más problemas que solo se notan más tarde y ocultan sus verdaderas causas.

Diagrama 2.2: Implicaciones sobre la Producción



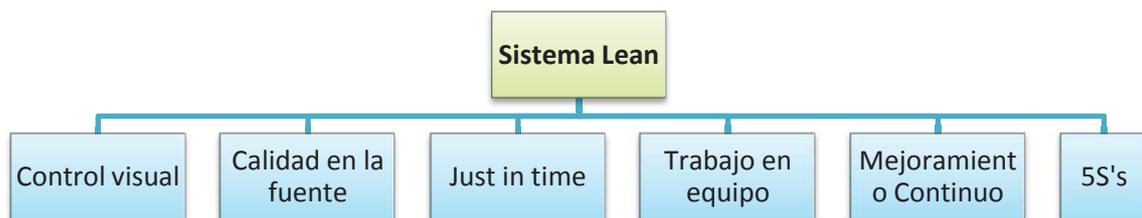
Fuente: (CORREA DE MOURA, Lean Production: Fundamentos del sistema Toyota de producción, 2009)

2. **Espera:** Tiempo ocioso entre actividades o durante una actividad.
3. **Transporte:** Trasladar materiales o información por distancias mayores a lo estrictamente necesario (Normalmente por error de layout).
4. **Sobreprocesamiento:** Realizar más operaciones que las necesarias para el producto. Trabajo que no agrega valor.
5. **Inventario:** Acumulación excesiva de materiales o información, normalmente debido a la política de proceso por lote.
6. **Manejo excesivo:** Cualquier esfuerzo más allá de lo necesario para realizar una actividad.

7. **Errores o defectos:** Producir errores o defectos, lo que a su vez genera: inspección, reproceso, rechazo, ruptura de flujo, pérdida de proactividad.
8. **Desperdicio del potencial humano:** No aprovechar las habilidades de las personas.

### 2.4.3 Elementos clave del Sistema Lean:

Diagrama 2.3: Elementos del Sistema Lean de Producción



Fuente: (CORREA DE MOURA, Lean Production: Fundamentos del sistema Toyota de producción, 2009)

**Control visual:** El concepto abarca cualquier dispositivo de comunicación usado en el ambiente de trabajo que pueda, en un vistazo, informar cómo se debe hacer el trabajo, y/o mostrar si hay un desvío en relación a la manera estándar. Los principales recursos para el control visual son: sombras, rotulación, codificación por colores, paneles, fajas, cuadro de indicadores y patrones visuales de trabajo.

**Calidad en la fuente:** Se deben producir ítems con cero errores desde la fuente. Para garantizarlo se utilizan herramientas como:

- Estándares claros
- Poka Yoké: métodos para impedir la generación de errores.
- Inspección y feedback inmediato / comunicación

- Jidoká: dispositivos incorporados al proceso que detectan anomalías, detienen la actividad y señalan el error.
- Andon: señalización de la situación.

**Just in time:** Proveer a cada cliente lo que es necesario, cuando es necesario y en la cantidad especificada. El principio justo a tiempo se consigue con producción en pequeños lotes y con personal multifuncional. Para alcanzar un flujo continuo y nivelado, se debe producir en el tiempo “takt”, que es el tiempo en que el cliente requiere un producto, es decir un sistema halado por el cliente.

**Trabajo en equipo:** El ambiente lean incentiva a las personas a que se involucren activamente en la mejora de su propia área de trabajo, en un ambiente participativo que potencializa la sabiduría colectiva presente en la empresa. A través de la mejora continua se identifican y eliminan las fuentes de desperdicio, como resultado el proceso fluye de manera estable y sin imprevistos.

**Mejoramiento continuo:** Cualquier cosa puede ser mejorada, los problemas deben ser vistos como oportunidades. La falta de problemas, es un problema. Se deben considerar que las ideas de los trabajadores son fuentes de mejora. Es fundamental que la gente aprenda y use un método y herramientas para solucionar problemas.<sup>15</sup>

#### 2.4.4 Las Cinco Eses (5 S's)

5 S's es un método que permite alcanzar un estado ideal en el que:

- Los materiales y útiles innecesarios se han eliminado.
- Todo se encuentra ordenado e identificado.
- Se han eliminado las fuentes de suciedad.

---

<sup>15</sup> (CORREA DE MOURA, Lean Production: Fundamentos del sistema Toyota de producción, 2009)

- Existe un control visual mediante el cual saltan a la vista las desviaciones o fallos.
- Todo se mantiene y mejora continuamente.<sup>16</sup>

Las 5 S's organizan y estandarizan cualquier lugar de trabajo, creando un ambiente físico adecuado para actividades de mejora, además de influenciar favorablemente en el comportamiento de las personas. (CORREA DE MOURA, Lean Production: Fundamentos del sistema Toyota de producción, 2009)

1. **Seiri (Clasificar):** Significa eliminar del área de trabajo todos los elementos innecesarios y que no se requieren para realizar nuestra labor.

Seiri consiste en:

- Separar en el sitio de trabajo las cosas que realmente sirven de las que no sirven.
  - Clasificar lo necesario de lo innecesario para el trabajo rutinario.
  - Mantener lo que necesitamos y eliminar lo excesivo.
  - Separar los elementos empleados de acuerdo a su naturaleza, uso, seguridad y frecuencia de utilización con el objeto de facilitar la agilidad en el trabajo.
  - Eliminar información innecesaria y que nos puede conducir a errores de interpretación o de actuación.
2. **Seiton (Ordenar):** Consiste en organizar los elementos que hemos clasificado como necesarios de modo que se puedan encontrar con facilidad. Una vez eliminados los elementos innecesarios, se define el lugar donde se deben ubicar aquellos que necesitamos con frecuencia, identificándolos para eliminar el tiempo de búsqueda y facilitar su retorno al sitio una vez utilizados (es el caso de la herramienta).

---

<sup>16</sup> (PAREDES R., 2009)

Seiton permite:

- Disponer de un sitio adecuado para cada elemento utilizado en el trabajo de rutina para facilitar su acceso y retorno al lugar.
- Disponer de sitios identificados para ubicar elementos que se emplean con poca frecuencia.
- Disponer de lugares para ubicar el material o elementos que no se usarán en el futuro.
- Incrementar el conocimiento de los equipos por parte de los operadores de producción.

**3. Seiso (Limpieza):** Significa eliminar el polvo y suciedad de todos los elementos de una fábrica. La limpieza se relaciona estrechamente con el buen funcionamiento de los equipos y la habilidad para producir artículos de calidad. La limpieza implica no únicamente mantener los equipos dentro de una estética agradable permanentemente. Seiso implica un pensamiento superior a limpiar y exige que realicemos un trabajo creativo de identificación de las fuentes de suciedad y contaminación para tomar acciones de raíz para su eliminación, de lo contrario, sería imposible mantener limpio y en buen estado el área de trabajo.

Para aplicar Seiso se debe:

- Integrar la limpieza como parte del trabajo diario.
- El trabajo de limpieza como inspección genera conocimiento sobre el equipo. No se trata de una actividad simple que se pueda delegar en personas de menor calificación.
- No se trata únicamente de eliminar la suciedad. Se debe elevar la acción de limpieza a la búsqueda de las fuentes de contaminación con el objeto de eliminar sus causas primarias.

**4. Seiketsu (Estandarizar):** Permite mantener los logros alcanzados con la aplicación de las tres primeras "S". Si no existe un proceso para conservar los logros, es posible que el lugar de trabajo nuevamente

llegue a tener elementos innecesarios y se pierda la limpieza alcanzada con nuestras acciones.

Seiketsu o estandarización pretende:

- Mantener el estado de limpieza alcanzado con las tres primeras S.
- Enseñar al operario a realizar normas con el apoyo de la dirección y un adecuado.

**5. Shitsuke (Disciplina):** Convertir en hábito el empleo y utilización de los métodos establecidos y estandarizados para la limpieza en el lugar de trabajo. Podremos obtener los beneficios alcanzados con las primeras "S" por largo tiempo si se logra crear un ambiente de respeto a las normas y estándares establecidos.

Las cuatro "S" anteriores se pueden implantar sin dificultad si en los lugares de trabajo se mantiene la Disciplina. Su aplicación nos garantiza que la seguridad será permanente, la productividad mejore progresivamente y la calidad de los productos sea excelente.

Shitsuke implica:

- El respeto de las normas y estándares establecidos para conservar el sitio de trabajo impecable.
- Realizar un control personal y el respeto por las normas que regulan el funcionamiento de una organización.
- Promover el hábito de autocontrolar o reflexionar sobre el nivel de cumplimiento de las normas establecidas.
- Comprender la importancia del respeto por los demás y por las normas en las que el trabajador seguramente ha participado directa o indirectamente en su elaboración.
- Mejorar el respeto de su propio ser y de los demás.<sup>17</sup>

---

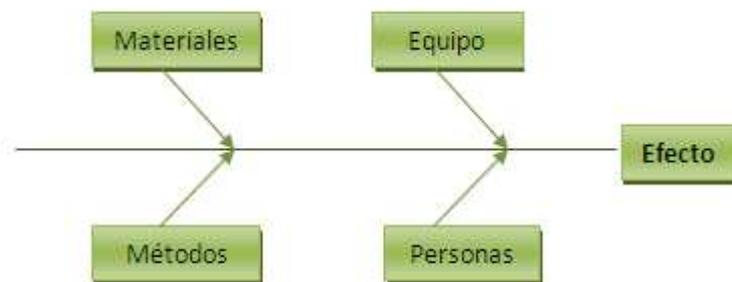
<sup>17</sup> (LEFCOVICH, 2003)

### 2.4.5 Diagrama de Ishikawa

También conocido como diagrama de causa y efecto, espina de pescado, o 4 M's. Es una herramienta que permite, a partir de un síntoma identificar, explorar y visualizar las posibles causas. Aplicándolo correctamente se consigue:

- El equipo enfoca la discusión sobre el problema, no en historias o intereses personales.
- Brinda un “display” del conocimiento que el grupo tiene sobre la situación.
- Las causas aparecen jerarquizadas, pudiéndose identificar las causas primarias.

Diagrama 2.4: Diagrama de Ishikawa



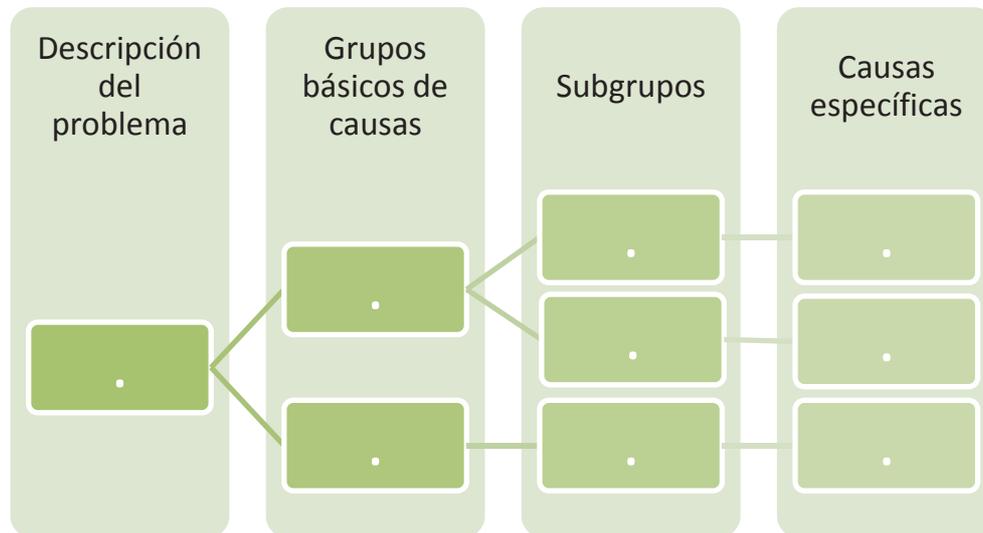
Fuente: (CORREA DE MOURA, Formación de especialistas Six Sigma Green Belt, 2009)

### 2.4.6 Diagrama de Arbol

Es una variante del diagrama de Ishikawa y permite explicar los vínculos racionales entre diferentes niveles de detalle de un tema dado. Es muy útil porque:

- Facilita la expansión y síntesis del pensamiento, asegurando un tratamiento completo y coherente.
- Permite visualizar la real complejidad involucrada en el tema.

Diagrama 2.5: Diagrama de Árbol



Fuente: (CORREA DE MOURA, Formación de especialistas Six Sigma Green Belt, 2009)

## 2.5 Hierro: Generalidades

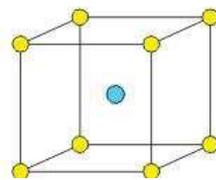
- No. Atómico: 26
- Peso atómico: 55,84
- Peso específico: 7,85
- Color: Blanco-gris
- Punto de fusión: 1 530 ° C
- Punto de ebullición 2 450° C
- Magnético: Hasta los 770° C
- Solubilidad: Insoluble
- Resistencia a la tracción: 25 Kg /mm<sup>2</sup>

El hierro puro carece de variedad de usos industriales debido a sus bajas características mecánicas.<sup>18</sup>

Como elemento químico el hierro es muy abundante, y no solo en la Tierra sino en otros planetas del sistema solar, usualmente no se lo encuentra libre sino formando óxidos los cuales son la materia prima para la industria siderurgica, estos óxidos son conocidos como hematina, magnetita, siderita, entre otros, y son reducidos con ayuda del carbón, para luego refinarlos. La estructura cristalina se evidencia de la siguiente manera:

- Alfa: Sistema cristalino con red cúbica centrada en el cuerpo (bcc) hasta los 911 C.

Ilustración 2.2: Hierro Alfa



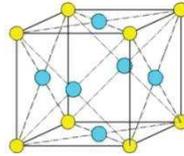
Fuente (FAY, 2008)

---

<sup>18</sup> (FLORES CRUZ, 2004)

- Gamma: Cúbica centrada en caras hasta los 1 400 °C aproximadamente.

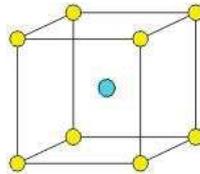
Ilustración 2.3: Hierro Gamma



Fuente: (FAY, 2008)

- Delta: Cúbica centrada en el cuerpo hasta los 1 500 °C.

Ilustración 2.4: Hierro Delta



Fuente: (FAY, 2008)

- Épsilon: A grandes temperaturas y presiones, estructura hexagonal compacta.

En la industria, el hierro y sus derivados tiene una amplia aplicación, ya que es fácilmente moldeable a altas temperaturas siendo a temperatura ambiente extremadamente resistente a los esfuerzos mecánicos, químicos o vibraciones. La aleación de hierro recibe este nombre cuando supera el 2% de carbón en peso, pudiéndose identificar dos tipos fundamentales de hierro: La fundición gris y la blanca. Estas fundiciones tienen propiedades muy reconocidas de resistencia a la abrasión y la corrosión.

El ser humano viene usando hierro desde aproximadamente 6 000 años a través de culturas como las sumeria, egipcia, o la china, pero su uso fue

puramente ceremonial, solamente a partir del siglo XVII se encuentran usos más técnicos como en la fabricación de utensilios, armaduras, herramientas y armas, esta época sirvió de preámbulo para la revolución industrial donde el uso del hierro se volvió intensivo sobre todo por la demanda de estructuras metálicas para puentes, edificios, puertos, industria naval, etc., así como para el uso ferroviario. Vale mencionar que esto se logró con la mejora en los hornos como el de Bessemer<sup>19</sup> que logra una reducción muy efectiva del mineral de hierro. Paralelamente también se incrementó el uso del carbón a efectos de conseguir su reducción y el calentamiento necesario, por esta razón se migró del carbón natural al uso del coque o la antracita.

En la actualidad es un elemento fundamental en el desarrollo de la humanidad, ya que el 90 % de la demanda de metales, está dada por el hierro. Por ende, su producción también ha sufrido una importante renovación, sobre todo en lo que a productividad corresponde. Es así, que se tienen altos hornos<sup>20</sup> que obtienen hierro en combinación con carbón y cal durante algunos años consecutivos, sin apagarse durante ese período, y produciendo no menos de 20,000 toneladas anuales de arrabio. El arrabio no es otra cosa que un producto intermedio de hierro el cual deberá ser afinado purificando para aplicaciones ulteriores, usualmente se toma este arrabio y se lo lleva a hornos de reducción.<sup>21</sup>

### **2.5.1 Fundiciones**

#### **Clasificaciones, calidades y microestructuras**

Las fundiciones son aleaciones de hierro, carbono y silicio que generalmente contienen también manganeso, fósforo, azufre, etc. Son de mayor contenido de

---

<sup>19</sup> Horno que purifica hierro retirando impurezas mediante la oxidación producida por el insuflado de aire en el hierro fundido.

<sup>20</sup> Horno en el cual se obtiene la primera reducción del hierro desde su forma natural como mineral de hierro, en presencia de coque y cal.

<sup>21</sup> (FAY, 2008)

carbono que los aceros (2 a 4,5%) y adquieren su forma definitiva directamente por colada, no siendo nunca sometidas a procesos de deformación plástica, ni en frío ni en caliente. En general, no son dúctiles ni maleables y no pueden forjarse ni laminarse.

En las fundiciones grises, que en la práctica son las más importantes, aparecen durante la solidificación y posterior enfriamiento, láminas de grafito, que al originar discontinuidades en la matriz, son la causa de que las características mecánicas de las fundiciones grises sean, en general, muy inferiores a las de los aceros, aunque sean, sin embargo, suficientes para muchísimas aplicaciones.

En las fundiciones llamadas blancas aparece en su solidificación un constituyente llamado "ledeburita", que es un eutéctico formado por austenita saturada y cementita, que no existe en los aceros, y que al enfriarse queda transformado luego, a la temperatura ambiente, en agrupaciones muy características de cementita y perlita. La presencia de cantidades importantes de cementita y de esos grupos de cementita y perlita reunidos en forma similar a la que corresponde a los eutécticos, es la causa de la fragilidad de las fundiciones blancas.

El cubilote<sup>22</sup> es la instalación más empleada para la fabricación de la mayoría de las piezas de fundición. Un porcentaje más pequeño de piezas se obtiene utilizando hornos de reverbero, hornos de crisol y hornos eléctricos, siendo las últimas instalaciones las más utilizadas para la fabricación de fundiciones de calidad, fundiciones aleadas y de alta resistencia.

Para la fabricación de piezas de fundición, se emplea generalmente como materia prima fundamental el arrabio o lingote de hierro y además se utiliza también en las cargas de los hornos y cubilotes, chatarras de fundición y a veces, se emplean también además cantidades variables de chatarra de acero. Durante los procesos de fabricación se suelen hacer adiciones de ferrosilicio o

---

<sup>22</sup> Horno empleado para la fusión de hierro y arrabio a fin de obtener hierro gris con propiedades mecánicas.

ferromanganeso, y en algunas ocasiones especiales se añade también ferrocromo, níquel, etc.

Teóricamente, las fundiciones pueden contener de acuerdo con el diagrama hierro-carbono, de 1,7 a 6,67% de carbono. Sin embargo, en la práctica, su contenido varía de 2 a 4,5%, siendo lo más frecuente que oscile de 2,75 a 3,5%. El contenido de silicio suele oscilar de 0,5 a 3,5% y el de manganeso de 0,4 a 2%. Excepcionalmente los contenidos de silicio y manganeso llegan algunas veces a 4%, y algunas veces se fabrican fundiciones especiales de hasta 15% de silicio. Los porcentajes de azufre suelen oscilar de 0,001 a 0,20%, los de fósforo de 0,04 a 0,8% y en algunos casos excepcionales llega a 1,5%. Para conseguir ciertas características especiales, se fabrican fundiciones aleadas que, además de los elementos citados, contienen también porcentajes variables de cobre, níquel, cromo, molibdeno, etc.

### **Principales propiedades de las fundiciones**

El empleo de la fundición para la fabricación de piezas para usos muy diversos, ofrece, entre otras, las siguientes ventajas:

1. Las piezas de fundición son en general más baratas que las de acero (que es el material que más se utiliza en los talleres y fábricas de maquinaria, motores, instalaciones, etc.), y su fabricación es también más sencilla por emplearse instalaciones menos costosas y realizarse la fusión a temperaturas relativamente poco elevadas, y más bajas que las que corresponden al acero.
2. Las fundiciones son, en general, mucho más fáciles de mecanizar que los aceros.
3. Se pueden fabricar con relativa facilidad piezas de grandes dimensiones y también piezas pequeñas y complicadas, que se pueden obtener con gran precisión de formas y medidas, siendo además en ellas menos frecuente la aparición de zonas porosas que en las piezas fabricadas con acero fundido.

4. Para numerosos elementos de motores, maquinaria, etc., son suficientes las características mecánicas que poseen las fundiciones. Su resistencia a la compresión es muy elevada (50 a 100 Kg./mm<sup>2</sup>) y su resistencia a la tracción (que puede variar de 12 a 90 Kg./mm<sup>2</sup>) es también aceptable para muchas aplicaciones. Tienen buena resistencia al desgaste y absorben muy bien (mejor que los aceros), las vibraciones de máquinas, motores, etc., a que a veces están sometidas.
5. Su fabricación exige menos precauciones que la del acero y no demanda de conocimientos técnicos especializados. Se llegan a obtener fundiciones con características muy aceptables para numerosas aplicaciones.
6. Como las temperaturas de fusión de las fundiciones son bastante bajas, se pueden sobrepasar con bastante facilidad, por lo que en general suele ser bastante fácil conseguir que las fundiciones en estado líquido tengan gran fluidez, y con ello se facilita la fabricación de piezas de poco espesor. En la solidificación presentan mucha menos contracción que los aceros y, además, su fabricación no exige, como la de los aceros, el empleo de refractarios especiales de precio elevado.

### **Clasificación de las fundiciones**

Por ser muchos y muy diferentes los factores que hay que tener en cuenta para la clasificación y selección de las fundiciones, es difícil establecer una clasificación simple y clara de las mismas. La más antigua y conocida de las clasificaciones establece cuatro grupos:

- Fundición blanca.
- Gris.
- Atruchada.
- Maleable.

A estos cuatro grupos se añade en la actualidad otro, el de las fundiciones especiales, en el que se pueden incluir las fundiciones aleadas que contienen

elementos especiales, las fundiciones nodulares, aciculares, inoculares, etc. A continuación se presentan dos clasificaciones de las fundiciones, por su fractura y por su micro estructura.

### **Clasificación de las fundiciones por su fractura**

Por el aspecto de las fracturas que presentan al romperse los lingotes de hierro obtenidos en el horno alto, colados en arena y por el aspecto que tienen las piezas después de rotas las piezas fundidas, se clasifican las fundiciones en: fundición gris, blanca y atruchada.

- **Fundición gris:** Contiene en general mucho silicio 1,5 a 3,5%.
- **Fundición blanca:** Contiene poco silicio, generalmente menos de 1%.
- **Fundición atruchada:** Tiene generalmente un contenido de silicio intermedio, variable de 0,6 a 1,5%.

El color oscuro que tienen las fundiciones grises y atruchadas, se debe a la presencia en las mismas de gran cantidad de láminas de grafito. Además, el contenido en silicio de las aleaciones hierro-carbono y la velocidad de enfriamiento, tienen gran influencia en la formación de uno u otra clase de fundición. Las velocidades de enfriamiento muy lentas favorecen a la formación de fundición gris; el enfriamiento rápido tiende a producir fundición blanca. Finalmente, el azufre y el manganeso ejercen también cierta influencia contraria a la del silicio, y favorecen a la formación de fundición blanca. Sin embargo el manganeso y el azufre cuando se encuentran formando inclusiones no metálicas de sulfuro de manganeso, no ejercen influencia en la formación de grafito ni en la aparición de fundiciones grises o blancas.

### **Clasificación de las fundiciones por su microestructura**

Las fundiciones que se obtienen en los hornos altos y en los cubilotes se pueden clasificar de acuerdo con la microestructura en tres grandes grupos:

1. Fundiciones en las que todo el carbono se encuentra combinado, formando cementita y que al romperse presenta fractura de fundición blanca.
2. Fundiciones en las que todo el carbono se encuentra en estado libre, formando grafito. Son fundiciones ferríticas.
3. Fundiciones en las que parte del carbono se encuentra combinado en forma de cementita y parte libre en forma de grafito. A este grupo, que es el más importante de todos, pertenece la mayoría de las fundiciones que se fabrican y utilizan normalmente, como son las grises, atruchadas y perlíticas, etc.

Es importante señalar que en la práctica es difícil encontrar fundiciones en las que todo el carbono se encuentre formando grafito, como se indica para las fundiciones del segundo grupo.<sup>23</sup>

## **2.5.2 Hierro Nodular**

### **Antecedentes**

El hierro maleable de corazón blanco y el de corazón negro, fueron desarrollados a fines del siglo XVIII y principios del XIX respectivamente. Estos materiales se produjeron de hierro gris, fundido bajo condiciones oxidantes en un horno de reverbero, produciendo un hierro con bajo carbono. El producto era relativamente blanco y dúctil, lo que ahora conocemos como hierro maleable. El desarrollo del primer procedimiento para la producción de hierro nodular fue llevado a cabo por H. Morrough, de Beira en julio de 1946.

Durante la segunda guerra mundial, cuando la producción de cromo se redujo seriamente, la Internacional Nickel Company, trató de sustituir el manganeso por el cromo, pero la reacción era muy violenta. Después se utilizaron aleaciones de magnesio y se logró un aumento de la resistencia y mayor ductilidad.

---

<sup>23</sup> (APRAIZ, 1998)

Después de varios desarrollos posteriores se introdujo el proceso de hierro nodular en marzo de 1947.

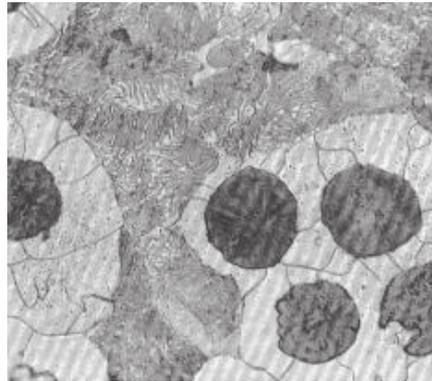
### **Características**

La fundición nodular, dúctil o esferoidal se produce en hornos cubilotes, con la fusión de arrabio y chatarra mezclados con coque y piedra caliza. La mayor parte del contenido de carbono en el hierro nodular, tiene forma de esferoides. Para producir la estructura nodular, el hierro fundido que sale del horno se inocula con una pequeña cantidad de materiales como magnesio, cerio, o ambos. Esta microestructura produce propiedades deseables como alta ductilidad, resistencia, buen maquinado, buena fluidez para la colada, buena endurecibilidad y tenacidad. No puede ser tan dura como la fundición blanca, salvo que la sometan a un tratamiento térmico, superficial, especial.

Este tipo de fundición se caracteriza porque en ella el grafito aparece en forma de esferas minúsculas y así la continuidad de la matriz se interrumpe mucho menos que cuando se encuentra en forma laminar, esto da lugar a una resistencia a la tracción y tenacidad mayores que en la fundición gris ordinaria. La fundición nodular se diferencia de la fundición maleable en que normalmente se obtiene directamente en bruto de colada sin necesidad de tratamiento térmico posterior.

El contenido total de carbono de la fundición nodular es igual al de la fundición gris. Las partículas esferoidales de grafito se forman durante la solidificación debido a la presencia de pequeñas cantidades de magnesio o cerio, las cuales se adicionan al caldero antes de colar el metal a los moldes, la cantidad de ferrita presente en la matriz depende de la composición y de la velocidad de enfriamiento.

Ilustración 2.5: Microestructura de la Fundición Nodular



Fuente: (APRAIZ, 1998)

Las fundiciones nodulares perlíticas<sup>24</sup> presentan mayor resistencia pero menor ductilidad y maquinabilidad que las fundiciones nodulares ferríticas.

Tabla 2.3: Clasificación de la Fundición Nodular según la norma ASTM-A-536

Clase	Resistencia	Lím. fluencia	Dureza Brinell	Alargamiento
	PSI x 1000			(%)
60-40-18	42000	28000	149-187	18
65-45-12	45000	32000	170-207	12
80-55-06	56000	38000	187-255	6
100-70-03	70000	47000	217-267	3
120-70-02	84000	63000	240-300	2

Fuente: (APRAIZ, 1998)

## Características y aplicación de los materiales durante la fabricación

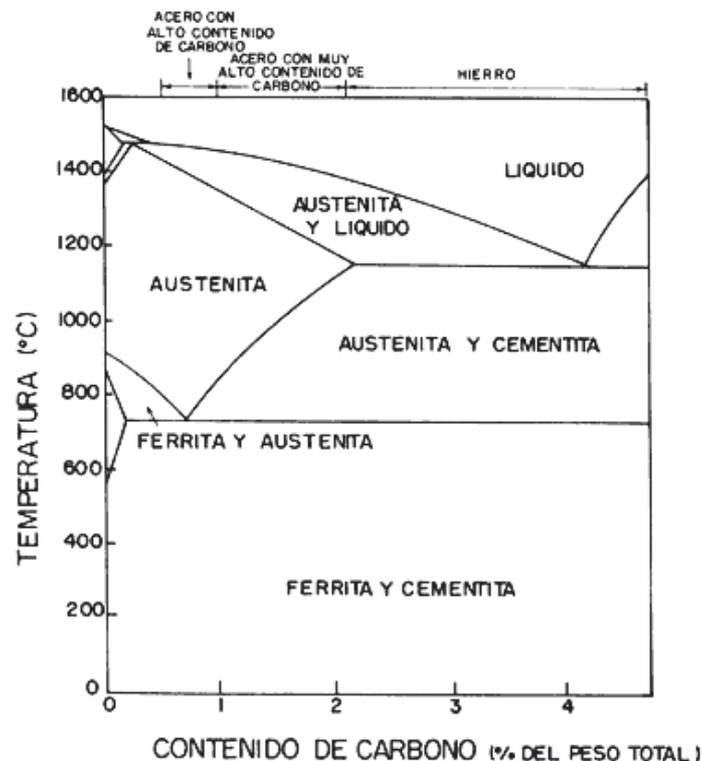
### Diagrama hierro-carbono

Para el estudio del hierro nodular existen tres partes importantes a considerar del diagrama:

<sup>24</sup> Referente a la microestructura de hierro formada por las fases  $\alpha$  y cementita, durante el enfriamiento lento a temperatura eutéctica.

- Austenita: Es la solución sólida cuando el carbono se disuelve en el hierro cúbico centrado en las caras (fcc).
- Ferrita: Es la solución sólida débil que se produce cuando el carbono se disuelve en el hierro centrado en el cuerpo (bcc) bajo los 910°C.
- Cementita: Es un carburo de hierro ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ), formado por la combinación de carbono con una pequeña parte de hierro.

Ilustración 2.6: Diagrama Hierro-Carbono



Fuente: (RAMÍREZ, 1995)

En el diagrama hierro carbono existen tres líneas horizontales importantes:

1. La primera ocurre a 1499°C, y se produce la reacción peritética  
 Líquido + Ferrita → Austenita  
 Como resultado de la reacción peritética se forma la Austenita. Esta reacción se observa en las aleaciones que contienen del 0,1 al 0,5% de carbono.

2. La segunda ocurre a  $1147^{\circ}\text{C}$ , donde se produce la transformación Eutéctica, con una concentración de 4,3%. Como resultado de ésta reacción se forma la estructura eutéctica.

A la mezcla de Austenita y Cementita se le llama Ledeburita. Esta estructura se presente en todas las aleaciones con un contenido mayor de 2,14% de carbono.

3. La tercera ocurre a  $723^{\circ}\text{C}$  y es donde se produce la transformación Eutectoide.



Al producto de la transformación se lo conoce como Perlita y es una mezcla física o mecánica de ferrita más cementita.

En todas las aleaciones que contengan más de 0,02% de carbono, se lleva a cabo la transformación perlítica.

### **2.5.3 Elementos que influyen en la microestructura.**

Existe un grupo de elementos que cuando están presentes en el hierro nodular, aún en el caso de pequeñas cantidades, entorpecen la formación de grafito esferoidal, causando la formación de grafito vermicular o algunas otras formas degeneradas de grafito. Esto hace que cambien significativamente las propiedades mecánicas del hierro nodular. La composición de los hierros base requiere de un control muy estricto para obtener las propiedades deseadas. Los principales elementos residuales que causan la formación de grafito laminar en lugar de esferoidal son: aluminio, antimonio, bismuto, plomo y titanio.

Tabla 2.4: Elementos Estabilizadores de Carburos y Perlita

Elemento	% Ferrítico	% Perlítico
Arsénico	0,020	0,02
Boro	0,002	0,002
Cobre	0,003	0,25 - 0,75
Cromo	0,03	0,03 - 0,12
Manganeso	0,09 - 0,2	0,40 - 0,65
Molibdeno	0,3	0,4
Vanadio	0,3	0,05
Fósforo	0,04	0,06
Estaño	0,01	0,06

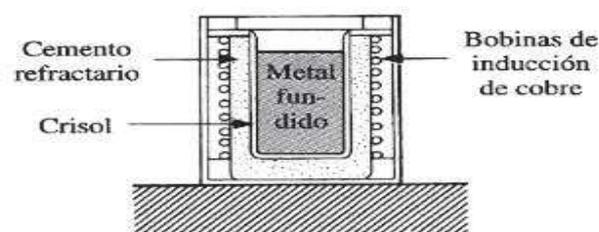
Fuente: (RAMÍREZ, 1995)

En el hierro nodular grado perlítico se puede tolerar un nivel relativamente alto de los elementos estabilizadores de perlita. Por ejemplo, los totales acumulados de manganeso, cobre, níquel, vanadio y fósforo, frecuentemente suman un total de 1%. (RAMÍREZ, 1995)

#### 2.5.4 Proceso de inducción

En la actualidad un gran número de productores de hierro nodular utilizan la fusión por inducción del hierro base para la fabricación de piezas. Los hornos de inducción ofrecen las siguientes ventajas a comparación con métodos más tradicionales: rápida fusión, fácil limpieza, eliminación de ruido, control de la composición química.

Ilustración 2.7: Horno de Inducción



Fuente: (RAMÍREZ, 1995)

Todos los hornos de inducción funcionan bajo el siguiente principio: “Cuando una corriente alterna pasa a través de una bobina, se crea un campo magnético que induce corrientes electromagnéticas en el metal, que se coloca y funciona como el núcleo. La resistencia que presenta el metal al paso de éstas corrientes inducidas provocan que la temperatura se eleve”.

El grado de calor que se logra, depende de la frecuencia del campo magnético y de su intensidad. La frecuencia de la red es de 60 ciclos por segundo y la intensidad en el campo puede ser variada de acuerdo a las necesidades.

El proceso de inducción trabaja solamente con metales, no se induce calor en el crisol ni en el revestimiento, ya que no son conductores de electricidad. Los límites de temperatura del horno se determinan por la refractariedad y reblandecimiento del revestimiento refractario.

Normalmente para la fundición de hierro en hornos de inducción, se utiliza aquel llamado sin núcleo o de crisol, en el cual la bobina induce las corrientes electromagnéticas a la capa magnética dentro del horno.

### **Revestimiento refractario del horno**

El revestimiento más adecuado para preparar el crisol, es el de cuarcita ácida, que está compuesto de óxido de silicio al 99%, mezclado con ácido bórico (de 0,5 a 2,4%). Ésta mezcla deberá ser apisonada entre la protección y revestimiento de la bobina y una forma cilíndrica de chapa de acero perforada. La técnica de apisonado es de suma importancia para el correcto funcionamiento, durabilidad y protección de la bobina del horno. Esta preparación se lleva a sinterización o curado, la cantidad de refractario consumido por unidad de metal en toneladas, a 1538 °C es de 1 a 2 Kg.

### **2.5.5 Importancia del silicio en el hierro nodular**

El silicio es uno de los elementos que más influencia tiene en el hierro nodular. Este controla la cantidad de grafito formado y el tiempo de matriz. Lo anterior tiene un profundo efecto en las propiedades físicas y mecánicas del hierro.

Es silicio es contribuido en las siguientes formas: retornos, aleación ferrosilicio-magnesio, inoculante y rebabas, recortes o punzonados.

#### **Efecto sobre la solidificación:**

- **Contracción:** Incrementando el silicio, se promueve un aumento en la cantidad de grafito. Esta precipitación causa una expansión provocada por la segregación de grafito, lo cual ejerce presión sobre las paredes del molde, por lo tanto, la cantidad de metal alimentado deberá ser superior a la del metal requerido por la dilatación del molde, caso contrario se provocarán contracciones o rechupes.
- **Microestructura:** Incrementando el contenido de silicio, el volumen del grafito formado durante la solidificación también se incrementa, aumentando la nodularidad en secciones delgadas, sin embargo en las gruesas se puede provocar la flotación del grafito. En general, un alto contenido de silicio favorece la formación de grafito y ferrita en la zona de reacción eutectoide. (RAMÍREZ, 1995)

#### **Efectos sobre las propiedades mecánicas:**

- **Resistencia a la tensión:** En el hierro nodular ferrítico, el incremento de silicio, promueve la grafitización y formación de ferrita, lográndose con esto un incremento en la resistencia de la matriz formada. El alto contenido de silicio provoca fragilización en las matrices perlíticas.
- **Elongación:** El incremento en el contenido de silicio en el hierro nodular ferrítico incrementa la resistencia de la matriz, lo cual disminuye la elongación. En el perlítico, el silicio actúa incrementando la proporción de ferrita formada.

- Tenacidad: El silicio afecta las propiedades de impacto del hierro nodular ferrítico, provocando la elevación de las temperaturas de transición mientras que la resistencia al impacto disminuye.

En general un alto contenido de silicio provoca una inadecuada grafitización, formación de carburo. Un silicio alto, por el contrario afecta las propiedades de resistencia a la tensión, impacto, y fragilización en la matriz.<sup>25</sup>

---

<sup>25</sup> (RAMÍREZ, 1995)

## **3. Capítulo III: Descripción de la Situación Actual**

### **3.1 Descripción de los procesos**

#### **3.1.1 Moldeo**

En esta parte del proceso se elaboran los moldes de arena. Para esto primero se prepara la arena con agua, carbonilla y bentonita. Estos aditivos le dan la resistencia a la arena para soportar el colado del metal fundido, también le brinda la propiedad de dar definición a los detalles de la pieza fundida.

- Luego de pasar por un molino de mezcla, la arena es repartida a los moldeadores para que comiencen a fabricar los moldes. Para esto se comienza por armar la caja de moldeo, con la placa del molde, la cual viene del área de diseño y modelado. Un molde consta de dos tapas, superior e inferior. La elaboración de ambas partes del molde sólo se diferencia en que la parte superior del molde llevará los orificios por donde ingresa el metal fundido, llamados vaciaderos.
- Se tamiza una capa de arena para garantizar que la superficie de la pieza tenga mejores características, y los detalles de la misma estén bien definidos.
- Se rellena la caja con más arena y se la compacta con pistones, esto aglomera la arena, con lo cual se dará mayor soporte al molde. En caso de estar elaborando la parte superior se colocan los vaciaderos.
- Después se rectifican los detalles del molde y finalmente se unen las dos partes del mismo.

Ilustración 3.1: Moldeo



Fuente: JCR Fundiciones

### 3.1.2 Fundición

En esta etapa se funde la chatarra con las ferroaleaciones que le darán a las piezas mejores propiedades.

- Para comenzar con el proceso de fundición se debe preparar el horno de inducción. Primero se lo recubre de una masa hecha con refractario, concrax y cuarsil IS4, eso se conoce como sinterizar el horno.
- Luego se enciende el horno para calentarla hasta alcanzar 1500°C.
- Después se pesa la chatarra para proceder a fundirla, cuando el metal ya se encuentra en estado líquido se le añaden las ferroaleaciones. Se continúa fundiendo. Durante la fusión se toma una muestra para analizar la composición de la colada, si no es correcta se procede a corregir la composición con más ferroaleaciones.
- Se cargan las cayanas con el hierro fundido y se las lleva hasta el sitio de moldeo, para proceder a colar el metal en los moldes.

- A continuación se debe esperar hasta que la pieza fundida se enfríe para desmoldarla. Durante el desmolde el obrero hace un control visual en las piezas, si están bien se las lleva al área de terminados, sino se las considera como chatarra para volver a fundirlas.

Ilustración 3.2: Fundición



Fuente: JCR Fundiciones

### 3.1.3 Terminados

Para dar los acabados a la pieza se pasa al área de terminados.

- Primero se coloca las piezas en la agranalladora, esta máquina lanza pequeños perdigones a gran velocidad a las piezas, con el impacto de ellos se desprende toda la arena adherida a las piezas.
- Al retirar las piezas de la agranalladora el operario se da cuenta si las piezas están bien, si las letras y demás detalles de la pieza están claros. Las piezas conformes pasan a ser pulidas, las piezas con fallas se vuelven a fundir o si éstas son menores se las corrige con masilla.
- Después de ser pulidas, las piezas se nivelan, con esto se consigue que los juegos de tapas y cerco se acoplen correctamente.

- A continuación se las ensambla utilizando accesorios como pernos, cadenas, seguros, etc.
- Finalmente las piezas son pintadas y almacenadas para su distribución posterior.

## 3.2 Aplicación metodología Seis Sigma

### 3.2.1 Definir

En esta parte del trabajo se encontrará el foco de mejora, se determinará que parte del proceso es clave y en cual proceso tendrá mayor impacto la aplicación de Seis Sigma. Para definir el foco de mejora se utilizó como herramienta principal la matriz de priorización, teniendo como criterios de la misma, los siguientes:

- Mayor margen de ganancia.
- Mayor volumen de pedido.
- Mayor frecuencia de pedido.
- Mejor desempeño del proceso

Estos criterios serán comparados entre sí para determinar la relación de importancia que existe entre los mismos. Para este fin se utiliza la siguiente escala de puntuación:

**Tabla 3.1: Escala de puntuación**

<b>Puntaje</b>	<b>Importancia</b>
1	Mucho menos importante
3	Menos importante
5	Igualmente importante
7	Más importante
9	Mucho más importante

Fuente: Autora

Con lo cual se obtuvo la primera matriz:

**Tabla 3.2: Priorización de Criterios**

		A	B	C	D	Suma	%
<b>A</b>	<b>Mayor margen de ganancia</b>		3	3	5	11	18,3333
<b>B</b>	<b>Mayor volumen de pedido</b>	7		3	7	17	28,3333
<b>C</b>	<b>Mayor frecuencia de pedido</b>	7	7		3	17	28,3333
<b>D</b>	<b>Mejor desempeño en el proceso</b>	5	3	7		15	25

Fuente: Autora

Posteriormente se proponen alternativas que posiblemente satisfagan los criterios antes planteados. Como alternativas fueron escogidos los productos más representativos de la empresa.

1. Tapa y cerco 635
2. Juego hunter
3. Tapa y cerco 600-125 KN
4. Rejilla y cerco 300x600

Según éstas alternativas, y la misma escala de puntuación, se generaron las siguientes matrices:

**Tabla 3.3: Priorización Criterio A**

<b>A</b>	<b>Mayor margen de ganancia</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Suma</b>	<b>%</b>
<b>1</b>	<b>Tapa y cerco 635</b>		7	5	7	19	31,6667
<b>2</b>	<b>Juego Hunter</b>	3		3	5	11	18,3333
<b>3</b>	<b>Tapa y cerco 600-125KN</b>	5	7		7	19	31,6667
<b>4</b>	<b>Rejilla y cerco 300x600</b>	3	5	3		11	18,3333

Fuente: Autora

Tabla 3.4: Priorización Criterio B

<b>B</b>	<i>Mayor volumen e pedido</i>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Suma</b>	<b>%</b>
<b>1</b>	<b>Tapa y cerco 635</b>		7	5	7	19	31,6667
<b>2</b>	<b>Juego Hunter</b>	3		3	5	11	18,3333
<b>3</b>	<b>Tapa y cerco 600-125KN</b>	5	7		7	19	31,6667
<b>4</b>	<b>Rejilla y cerco 300x600</b>	3	5	3		11	18,3333

Fuente: Autora

Tabla 3.5: Priorización Criterio C

<b>C</b>	<i>Mayor frecuencia D e pedido</i>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Suma</b>	<b>%</b>
<b>1</b>	<b>Tapa y cerco 635</b>		7	7	7	21	35
<b>2</b>	<b>Juego Hunter</b>	3		7	5	15	25
<b>3</b>	<b>Tapa y cerco 600-125KN</b>	3	3		5	11	18,3333
<b>4</b>	<b>Rejilla y cerco 300x600</b>	3	5	5		13	21,6667

Fuente: Autora

Tabla 3.6: Priorización Criterio D

<b>D</b>	<i>Mejor desempeño en el proceso</i>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>Suma</b>	<b>%</b>
<b>1</b>	<b>Tapa y cerco 635</b>		7	9	5	21	35
<b>2</b>	<b>Juego Hunter</b>	3		5	3	11	18,3333
<b>3</b>	<b>Tapa y cerco 600-125KN</b>	1	5		3	9	15
<b>4</b>	<b>Rejilla y cerco 300x600</b>	5	7	7		19	31,6667

Fuente: Autora

Con los resultados obtenidos de las distintas matrices se procede a construir de la matriz síntesis:

Tabla 3.7: Matriz Síntesis

		Mayor margen de ganancia	Mayor volumen de pedido	Mayor frecuencia de pedido	Mejor desempeño en el proceso		
		A	B	C	D	Porcentaje	Jerarquía
		18,3333	28,3333	28,3333	25		
1	Tapa y cerco 635	31,6667	31,6667	35	35	33,4444272	1
2	Juego Hunter	18,3333	18,3333	25	18,3333	20,2221778	4
3	Tapa y cerco 600- 125KN	31,6667	31,6667	18,3333	15	23,7222011	2
4	Rejilla y cerco 300x600	18,3333	18,3333	21,6667	31,6667	22,6110939	3

Fuente: Autora

Según los resultados conseguidos después de aplicada la matriz de priorización, el proceso que tiene las mejores condiciones para aplicar Seis Sigma es el de Tapa y Cerco 635.

### 3.2.1.1 Identificación de las características críticas

El siguiente paso para la aplicación de Seis Sigma es identificar las características críticas para la satisfacción (CTS, critical to satisfaction). Estas características son las que el cliente considera que deben estar presentes en el producto; siendo así, el cliente se encontraría completamente satisfecho. Para el proceso identificado anteriormente, se generó un diagrama de árbol para encontrar dichas características:

Diagrama 3.1: Características Críticas para la Satisfacción



Fuente: Autora

Después de ser definidas las características críticas, estas se deben priorizar según dos criterios: IIC (índice de importancia del cliente) y GNC (grado de no conformidad). Para realizar la priorización, se dieron previamente los siguientes puntajes a cada criterio:

Tabla 3.8: Puntuación IIC-GNC

IIC	GNC
Mucho poco importante=1	Muy Bajo=1
Poco importante=3	Bajo=3
Medianamente importante=5	Medio=5
Importante=7	Alto=7
Muy Importante=9	Muy Alto=9

Fuente: Autora

Tabla 3.9: Priorización CTS

Atributos		IIC	GNC	Puntaje
1	Definición de los detalles	9	5	45
2	Metal sin rugosidades	9	5	45
3	Cobertura total de la pintura	7	1	7
4	Tolerancias correctas	7	1	7
5	Resistencia adecuada a la torsión	9	1	9
6	Resistencia adecuada a la oxidación	9	1	9
7	Diseño correcto	9	3	27
8	Entrega de pedidos a tiempo	9	5	45
9	Entrega de pedidos completos	9	5	45

Fuente: Autora

Como siguiente paso al análisis durante una discusión del grupo directivo de JCR Fundiciones, a demás de miembros del departamento de producción se determinaron de entre todos, los factores más cruciales para la satisfacción.

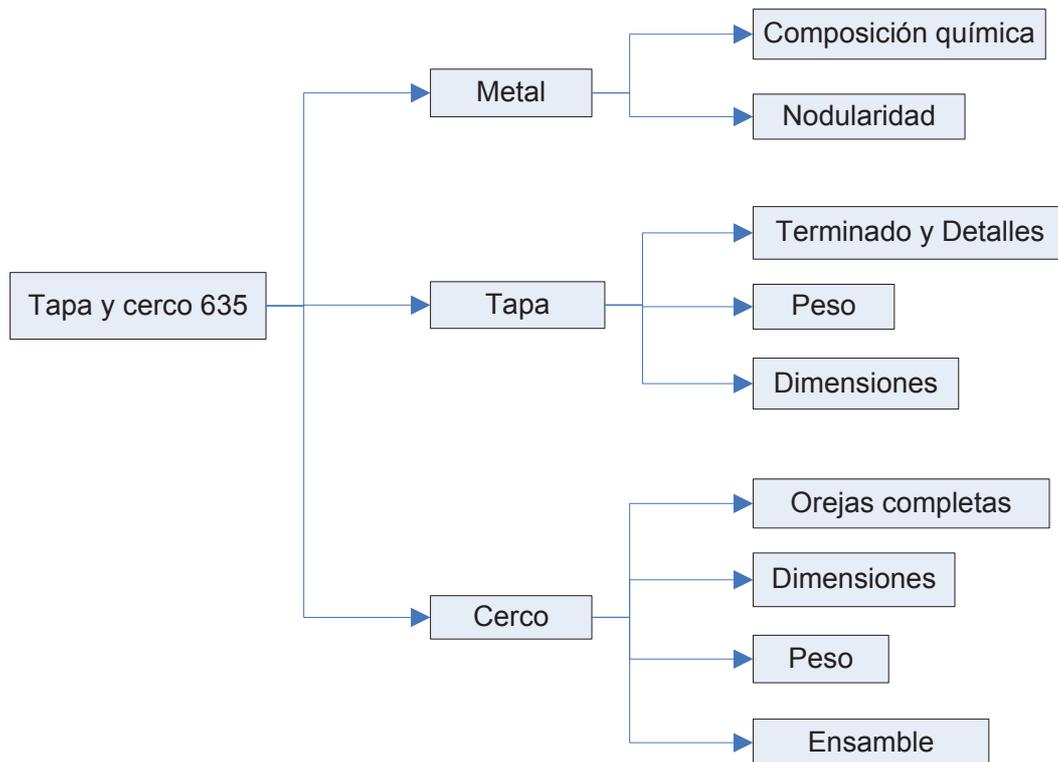
- Definición en los detalles.
- Metal liso (sin rugosidades)
- Resistencia adecuada.
- Entrega de pedidos a tiempo.

### 3.2.1.2 Definición de Parámetros de desempeño.

Una vez determinados aquellos factores críticos para la satisfacción del cliente, se deben definir aquellos factores que son críticos para la calidad del producto.

Se los conoce como CTY, y en el caso del juego de tapa y cerco 635 se presentan en el diagrama 8:

Diagrama 3.2: Factores CTY



Fuente: Autora

Las distintas opciones se analizan comparadas con las CTS's, para ser priorizadas en la siguiente matriz:

Tabla 3.10: Priorización CTY's

		<b>Definición de detalles</b>	<b>Metal liso (sin rugosidad)</b>	<b>Resistencia adecuada</b>	<b>Entrega de pedidos a tiempo</b>	
	<b>Prioridad CTS</b>	<b>9</b>	<b>7</b>	<b>5</b>	<b>3</b>	
						<b>Puntaje</b>
<b>Calidad del metal</b>	Composición	7	7	9	1	160
	Nodularidad	1	1	9	1	64
<b>Tapa</b>	Terminado y detalles	9	9	1	1	152
	Peso y dimensiones	1	1	9	1	64
<b>Cerco</b>	Orejas completas	5	1	9	1	100
	Ensamble	1	1	9	1	64
	Peso y dimensiones	1	1	9	1	64

Fuente: Autora

Considerando los puntajes obtenidos de la matriz y también de acuerdo con la opinión del grupo directivo los parámetros CTY más importantes son:

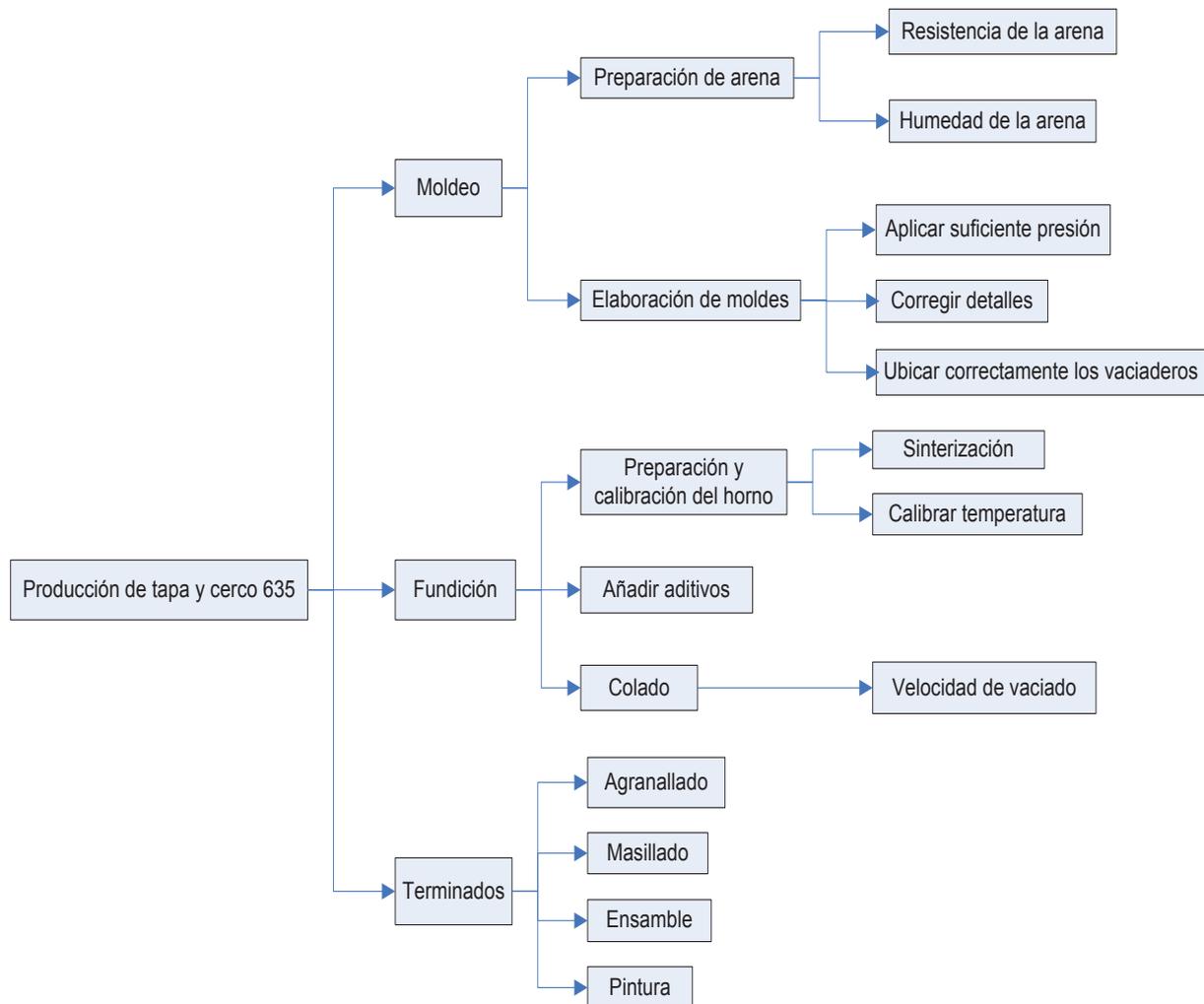
- Terminado y detalles
- Composición del metal.
- Nodularidad.

Posterior a este análisis se determinarán las características críticas para el proceso.

### 3.2.1.3 Definición de procesos críticos

Se considera que las características cruciales para que el proceso sea exitoso son las que se muestran a continuación:

Diagrama 3.3: Factores CTX



Fuente: Autora

En cuanto a las características críticas del proceso, o CTX's, también se empleó la matriz de priorización para encontrar las más importantes:

Tabla 3.11: Priorización CTX's

		Terminado y detalles	Composición del metal	Nodularidad	
Prioridad CTY		9	7	3	
					Puntaje
Moldeo	Resistencia del molde	9	1	1	<b>91</b>
	Humedad de la arena	9	1	1	<b>91</b>
	Aplicar suficiente presión	7	1	1	73
	Corregir detalles	7	1	1	73
	Ubicar correctamente vaciaderos	5	1	1	55
Fundición	Sinterizar horno	1	1	1	19
	Calibrar temperatura	9	3	1	<b>105</b>
	Adición de aditivos	9	9	9	<b>171</b>
	Velocidad de vaciado	7	1	1	73
Terminados	Agranallado	5	1	1	55
	Masillado	7	1	1	73
	Pulido	5	1	1	55
	Ensamble	3	1	1	37
	Pintura	7	1	1	73

Fuente: Autora

De las características esenciales del proceso se consideraron tanto los puntajes obtenidos en la matriz, así como la opinión de los dueños de los procesos, de donde se obtuvo que las principales son las siguientes:

- Resistencia de la arena.
- Humedad de la arena.
- Temperatura de fundición.

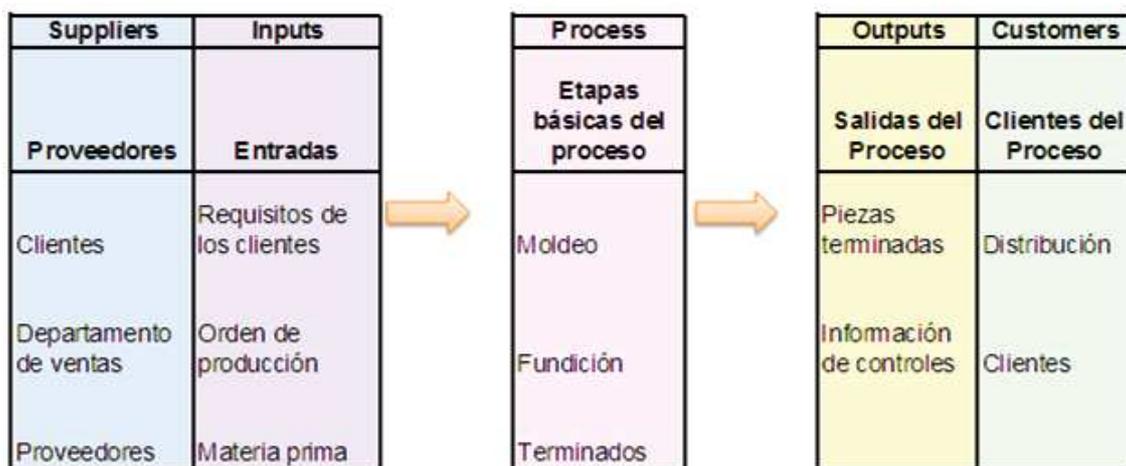
- Pesaje y adición de aditivos durante la fundición.

De estos parámetros nace la calidad final del producto, y por ende de ellos depende directamente la satisfacción del cliente. Por esta razón el análisis y la propuesta de mejora se centrarán en estas características del proceso.

### 3.2.1.4 Diagrama SIPOC nivel macro

El diagrama SIPOC (Suppliers, Inputs, Process, Output, Customer) macro, da una perspectiva general y amplia de todo el proceso, provee información sin detalles sobre los proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes:

Diagrama 3.4: SIPOC Macro



Fuente: Autora

### 3.2.1.5 Project Chárter

El Project Chárter es la formalización del proyecto Seis Sigma, que se presenta a la dirección para ser aprobada y dar paso a la ejecución del mismo, y es el siguiente:

Tabla 3.12: Project Charter

<b>Champion</b>	Ing. Gustavo López	<b>Green Belt</b>	Gabriela Bermúdez
<b>Producto impactado</b>	Juego de tapa y cerco de 635	<b>Dirección</b>	Av. Gral. Enríquez, Sangolquí
<b>Descripción</b>	El proyecto se aplicará al juego de tapa y cerco de 635, este producto fue elegido en la fase define. El proyecto se centrara en la eliminación de defectos y reducción de desperdicios. El proyecto involucrará los tres macro procesos en la producción, que son: moldeo, fundición y terminados. Así mismo se verá involucrada el área de laboratorio, para los análisis correspondientes.		
<b>Objetivos</b>	Identificar y diagramar los procesos que intervendrán en el proyecto, para tener una visión sistemática de los mismos.		
	Identificar los procesos críticos que serán impactados por el proyecto.		
	Medir las variables y estudiarlas, a fin de conocer el comportamiento actual de los procesos.		
	Analizar las causas para encontrar las causas raíz y hacer la propuesta de mejora.		
	Realizar una propuesta de mejora que aplicándola permita reducir los defectos y desperdicios actuales. Asegurando de tal manera la calidad del producto y por ende, la satisfacción del cliente.		
<b>Impacto financiero</b>	Reducción de defectos		
	Reducción de reprocesos		
	Reducción de desperdicios		
<b>Definición del equipo</b>	<b>Dueño del proceso</b>	Ing. Gustavo López	
	<b>Jefe de planta</b>	Ing. Gustavo Vera	
	<b>Supervisora</b>	Gabriela Bermúdez	
<b>Cronograma</b>		<b>Inicio</b>	<b>Fin</b>
	<b>Definir</b>	20-Sep-10	10-Oct-10
	<b>Medir</b>	11-Oct-10	30-Nov-10

	<b>Analizar</b>	01-Dic-10	10-Dic-10
	<b>Realizar propuesta</b>	11-Dic-10	20-Dic-10
<b>Definición de recursos</b>	<b>Ítem</b>	<b>Costo</b>	
	Transporte	\$ 300	
	Útiles de oficina	\$ 20	
	Copias	\$ 30	
	Impresiones	\$ 200	
	Espiralados	\$ 10	
	Otros Gastos	\$ 100	
	<b>TOTAL</b>	<b>\$ 660</b>	

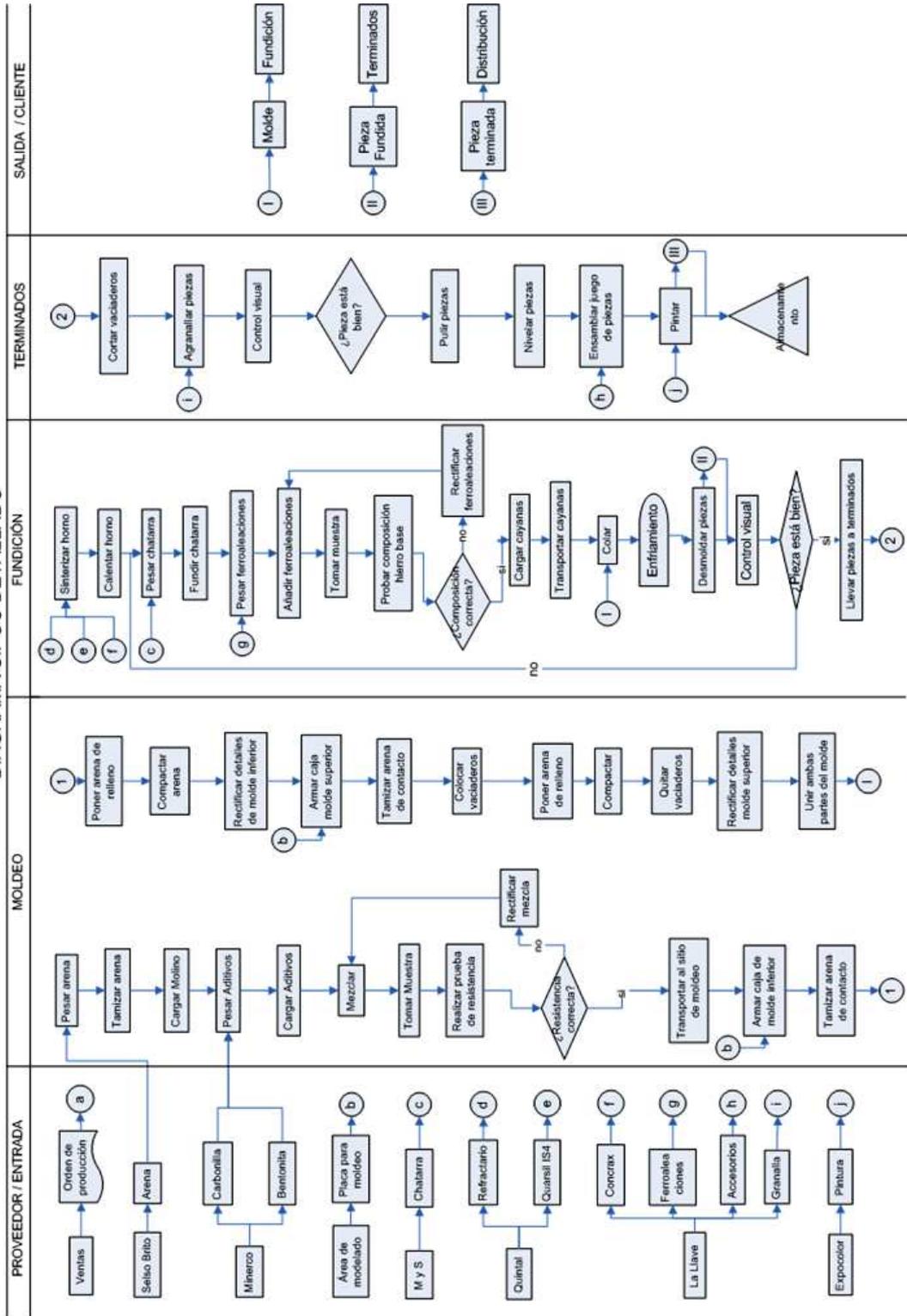
Fuente: Autora

### 3.2.2 Medir

En ésta etapa del proceso Seis Sigma se miden las variables que se han determinado en la fase definir. Para poder estudiar la capacidad de los procesos.

#### 3.2.2.1 Diagrama SIPOC detallado

DIAGRAMA SIPOC DETALLADO



### **3.2.2.2 Sistema de medición**

Para los parámetros que se medirán, obtenidos de la fase define, se utilizan instrumentos de laboratorio de propiedad de JCR fundiciones. Estos equipos han sido adquiridos por la empresa y tienen la calibración de las casas fabricantes.

### **3.2.2.3 Capacidad del proceso**

El objetivo de esta parte del método Seis Sigma, es observar el comportamiento que tiene el proceso. Para esto se deben realizar mediciones de los parámetros que resultan de la fase “definir”, y luego se procesarán los datos en el software MINITAB:

#### **1. Humedad de la arena:**

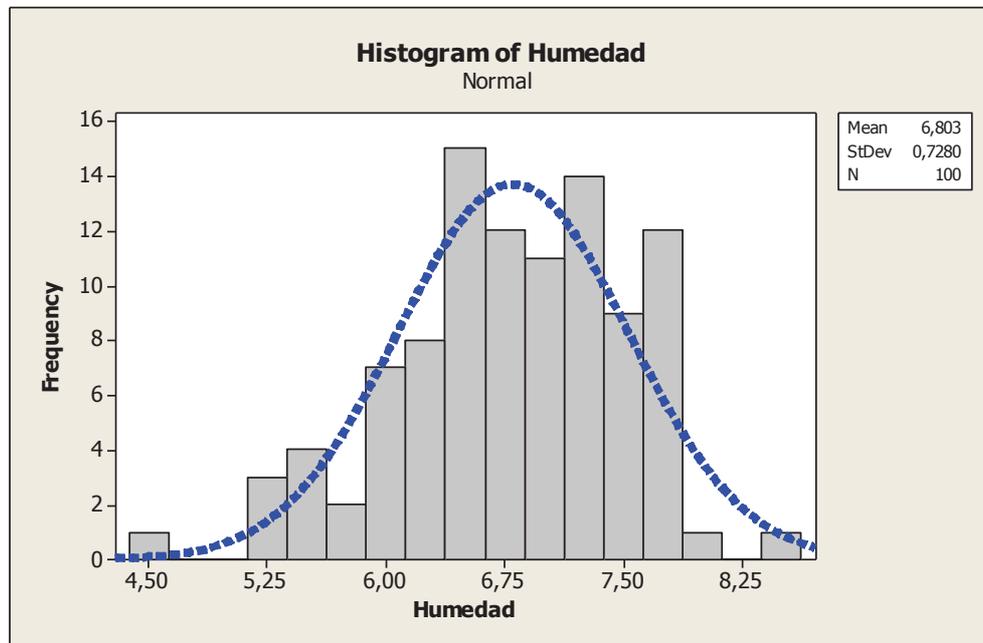
La humedad es un parámetro determinante en la elaboración de un buen molde, y por ende en la obtención de una pieza de calidad. De la humedad depende la capacidad de aglomeración de la arena. Si existe mucha agua en la preparación de la arena, al colocar el metal fundido el agua se evapora y crea porosidad en la pieza; y, si de lo contrario hay poca agua la arena no se compactará de la manera adecuada.

El proceso para hacer la medición del porcentaje de humedad en la arena es el siguiente:

- a. Se toma una muestra de arena preparada.
- b. Se pesan 50 g de la muestra.
- c. Se somete la muestra a un chorro de aire caliente durante 5 minutos.
- d. Se pesa la muestra seca.
- e. Se saca la relación del peso perdido, el resultado es el porcentaje de agua que contenía la arena.

De los datos obtenidos de las pruebas a la arena, resulta el siguiente histograma:

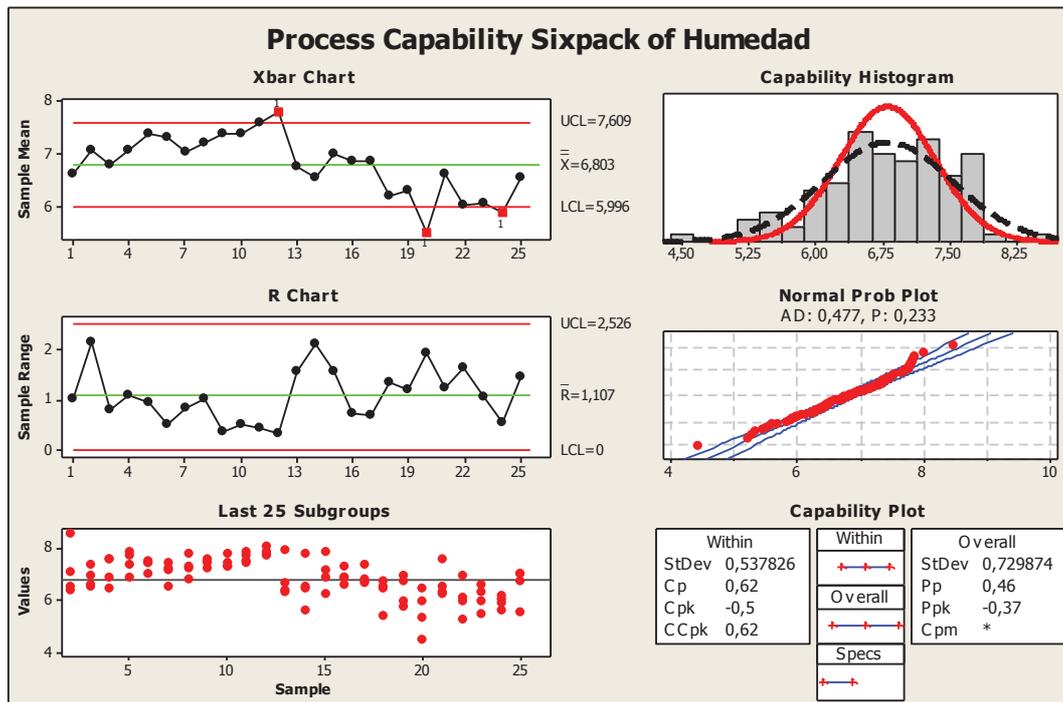
Ilustración 3.3: Histograma Humedad de la Arena



Fuente: Autora

Se aprecia claramente que la variable humedad tiene una distribución normal, cuya media es 6,803; y la desviación estándar es 0,7280. Para saber más sobre el comportamiento de esta variable se aplica el Proceso Capability Sixpack:

Ilustración 3.4: Sixpack de la Capacidad de Humedad de la Arena

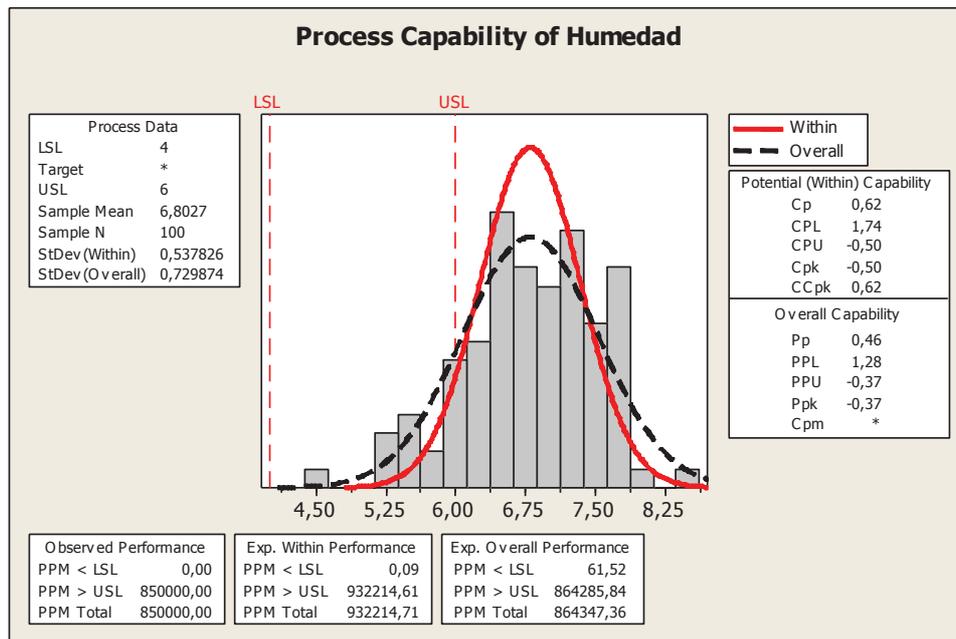


Fuente: Autora

Según el gráfico anterior este proceso es altamente incapaz ya que el índice Cp es 0,46 y el Cpk es -0,37. Éstos índices indican que el proceso es muy irregular, está bastante descentrado y tiene una variabilidad altísima, además de existir puntos fuera de los límites de control. La mayoría de los datos están fuera de los límites especificados.

Para obtener información sobre las ppm defectuosas, se aplica el análisis de capacidad:

Ilustración 3.5: Análisis de Capacidad para Humedad de la Arena



Fuente: Autora

El gráfico muestra una agrupación de datos hacia la derecha, con casi la totalidad de los mismos fuera de los límites de control, esto significa que la arena presenta humedad excesiva. Se puede observar que el proceso es incapaz, el valor ideal para el porcentaje de humedad de la arena es de 5% y la media actual está alrededor de 6,8%. Este proceso necesita una acción inmediata para corregirlo ya que actualmente genera 864347 ppm de errores. Esta es una cantidad alarmante, y este proceso puede ser la causa de la mayoría de los problemas en el producto final.

## 2. Resistencia de la arena:

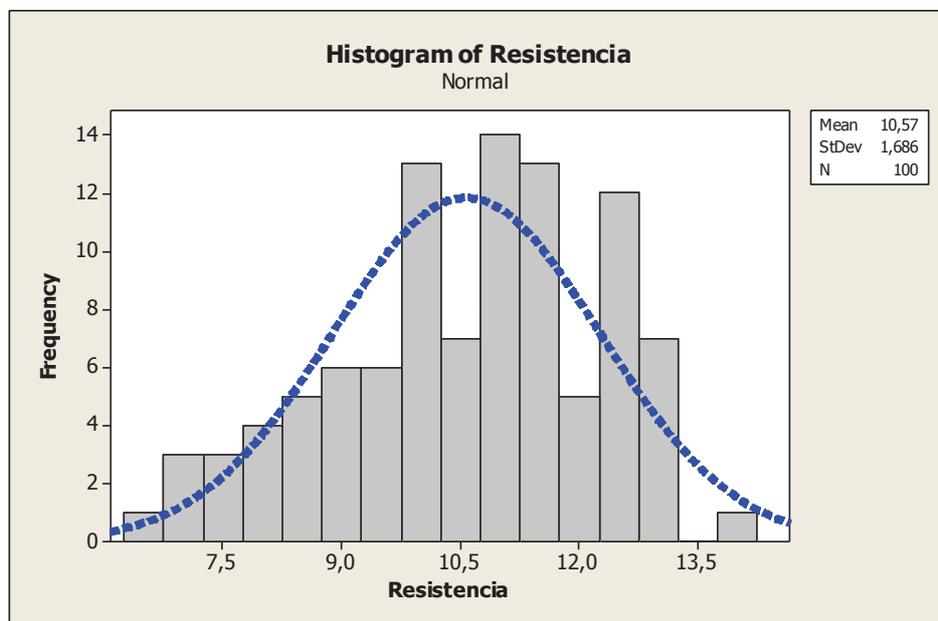
La resistencia de la arena es un factor crucial en la obtención de piezas de calidad, ya que si se trabaja con arena de resistencia correcta se obtienen moldes buenos, que no se derrumban y ofrecen la definición necesaria en los detalles de la pieza.

Para medir este parámetro se sigue el procedimiento a continuación:

- a. Se toma una muestra de arena preparada.
- b. Se hace pasar por una tolva con una rejilla, para simular el tamizado de la arena.
- c. Se llena un molde pre diseñado para el experimento.
- d. Se somete a compactación dando 3 golpes en el preparador de probetas.
- e. Se retira la probeta del molde y se la ubica en la máquina de resistencia.
- f. Se enciende la máquina, sometiendo la probeta a un peso estandarizado. Al romperse la probeta la máquina se detiene y señala un resultado en psi (lb/in<sup>2</sup>).

El histograma obtenido de las pruebas de resistencia realizadas es el siguiente:

Ilustración 3.6: Histograma Resistencia de la Arena

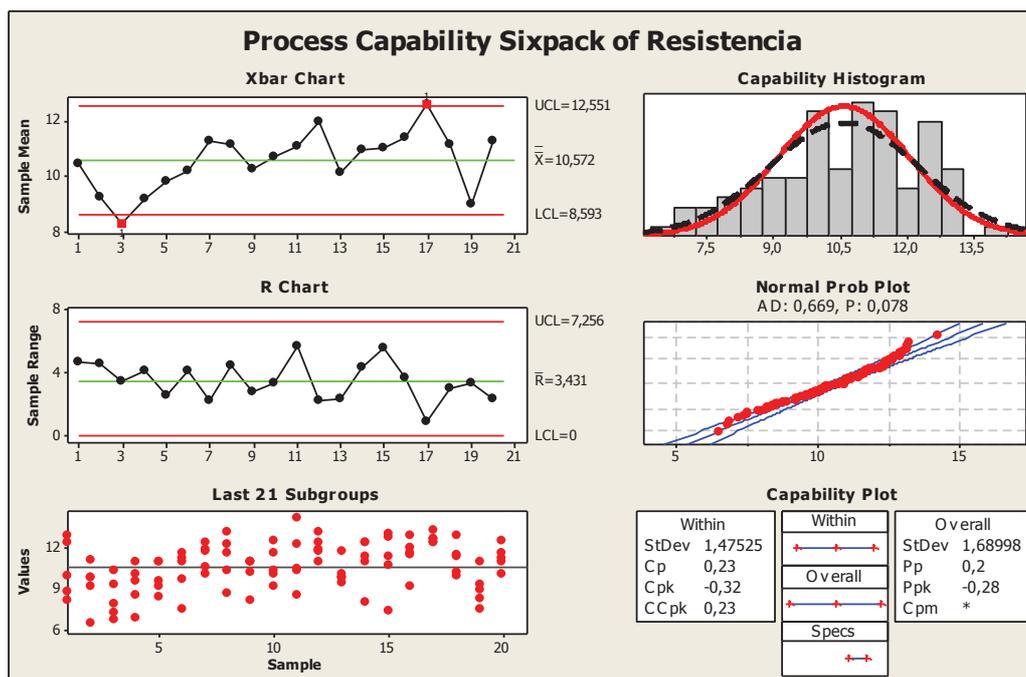


Fuente: Autora

Según los datos arrojados por el histograma, la resistencia media de la arena es de 10,57 Psi, y la desviación estándar es de 1,686. A simple vista se aprecia que el proceso tiene una variabilidad muy alta.

Para saber más sobre el desempeño de la resistencia de la arena se utiliza el Capability Sixpack.

Ilustración 3.7: Sixpack de la capacidad del proceso Resistencia de la Arena

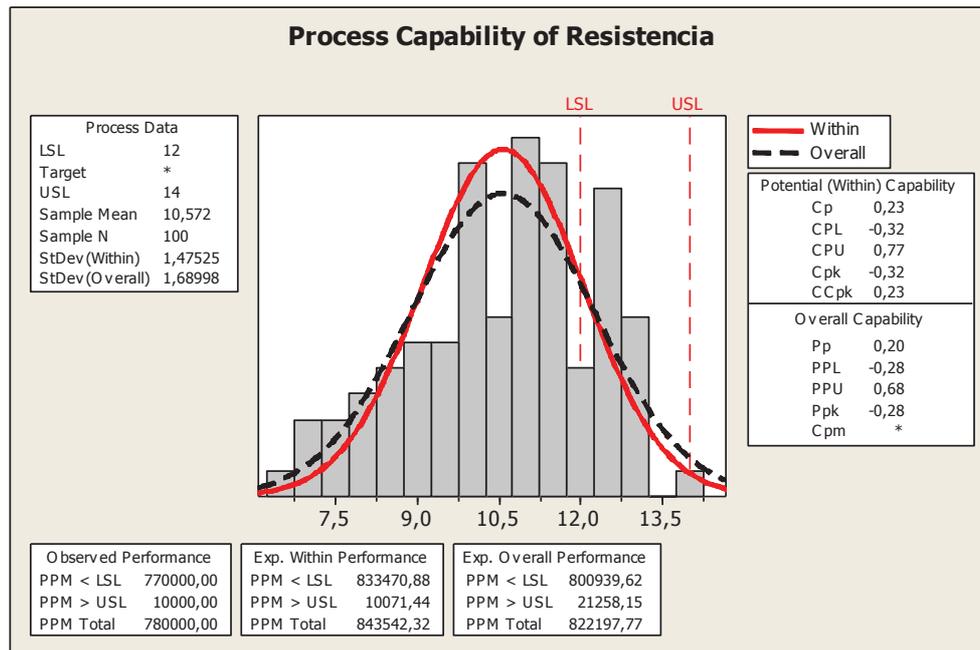


Fuente: Autora

Este parámetro, al igual que el anterior presenta los índices de capacidad muy bajos. El Cp es de 0,2 y el Cpk de -0,28. Esta información del proceso es en realidad impresionante, sin embargo, la oportunidad de mejora es muy clara, y extremadamente necesaria.

Para conseguir mayor detalle sobre el desempeño de este proceso aplicamos el análisis de capacidad.

Ilustración 3.8: Análisis de capacidad para Resistencia de la Arena



Fuente: Autora

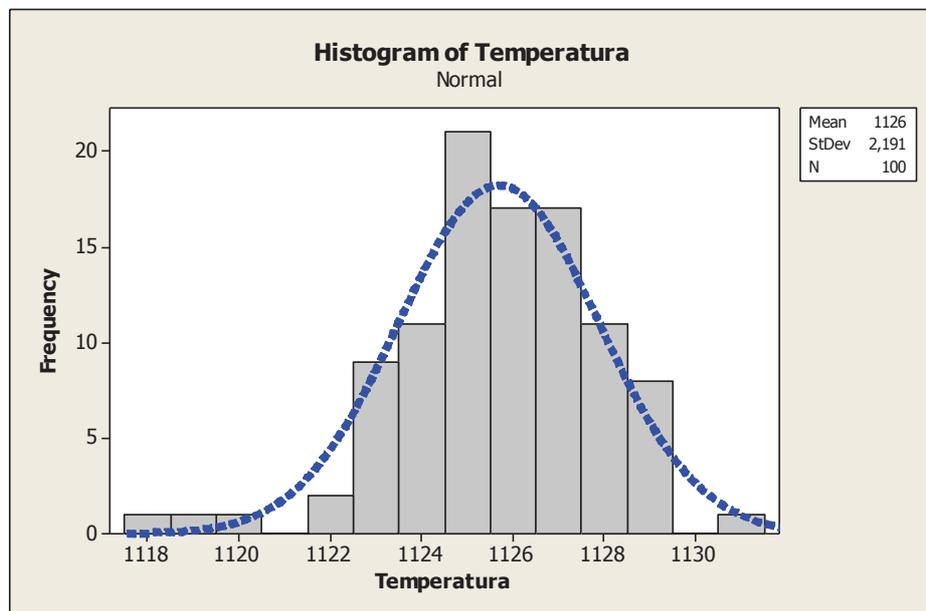
Es evidente que el proceso es incapaz, ya que está totalmente descentrado con agrupación de datos hacia la parte izquierda del gráfico, esto indica que la resistencia de la arena actualmente es muy inferior al valor deseado (13 Psi). Las ppm defectuosas producidas son 822197,77. Este proceso está totalmente fuera de control, y los daños causados por la resistencia inferior del metal representan mucho dinero para la empresa.

### 3. Temperatura de fundición:

La temperatura de fundición del hierro es de 1450°C. De la temperatura depende la densidad del metal al momento de colarlo en los moldes, si la temperatura es muy baja, la colada no fluirá correctamente dentro del molde y se producirán piezas defectuosas con falta de material y poca definición de los detalles como las letras y gráficos.

Para hacer la medición de la temperatura se toma una muestra del metal líquido cuando ya está lista la colada, se ingresa la muestra a una máquina que realiza un análisis de la temperatura y de la composición. Los datos de temperatura que la máquina entrega se obtienen al haberse logrado cierto enfriamiento, los cuales son proporcionales a la temperatura de fundición. El análisis de capacidad se realiza sobre 100 muestras de estos datos en subgrupos de 5, obteniendo:

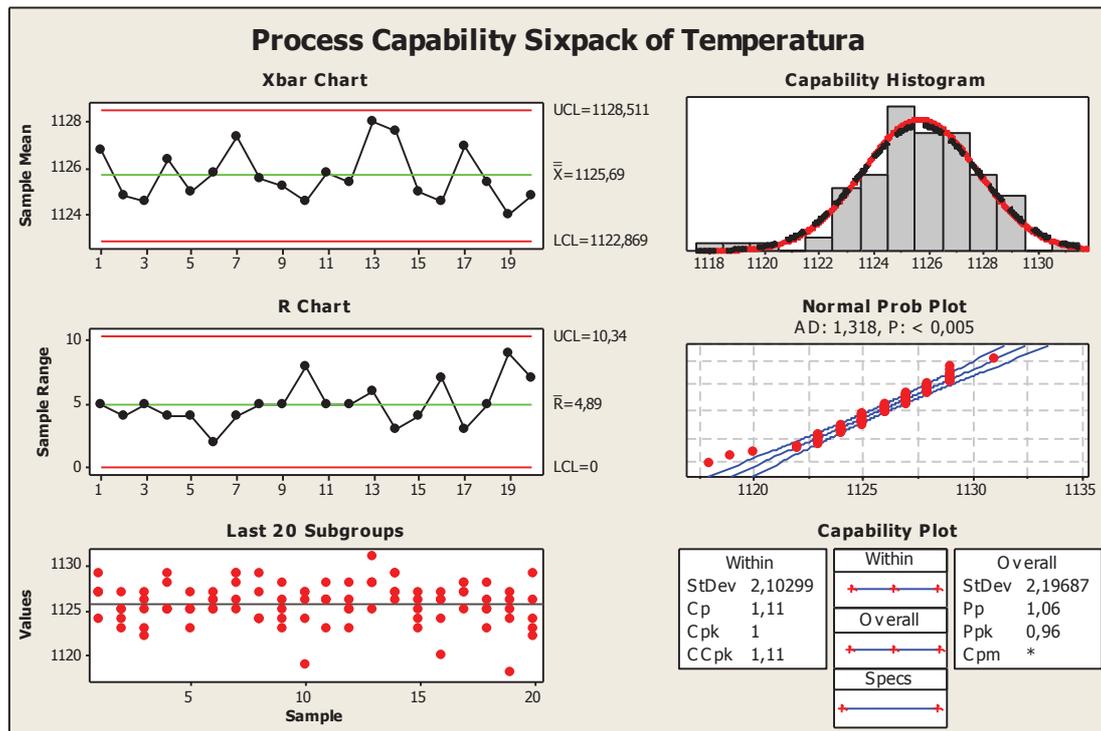
Ilustración 3.9: Histograma Temperatura del Metal Fundido



Fuente: Autora

En el histograma anterior se aprecia que la temperatura tiene una distribución normal con media  $1126^{\circ}\text{C}$  y desviación estándar 2,191. Para obtener más información sobre los datos, se aplica un gráfico de control, el Process Capability Sixpack; para el cual se emplean 20 muestras de tamaño 5.

Ilustración 3.10: Sixpack de la capacidad del proceso Temperatura del metal fundido



Fuente: Autora

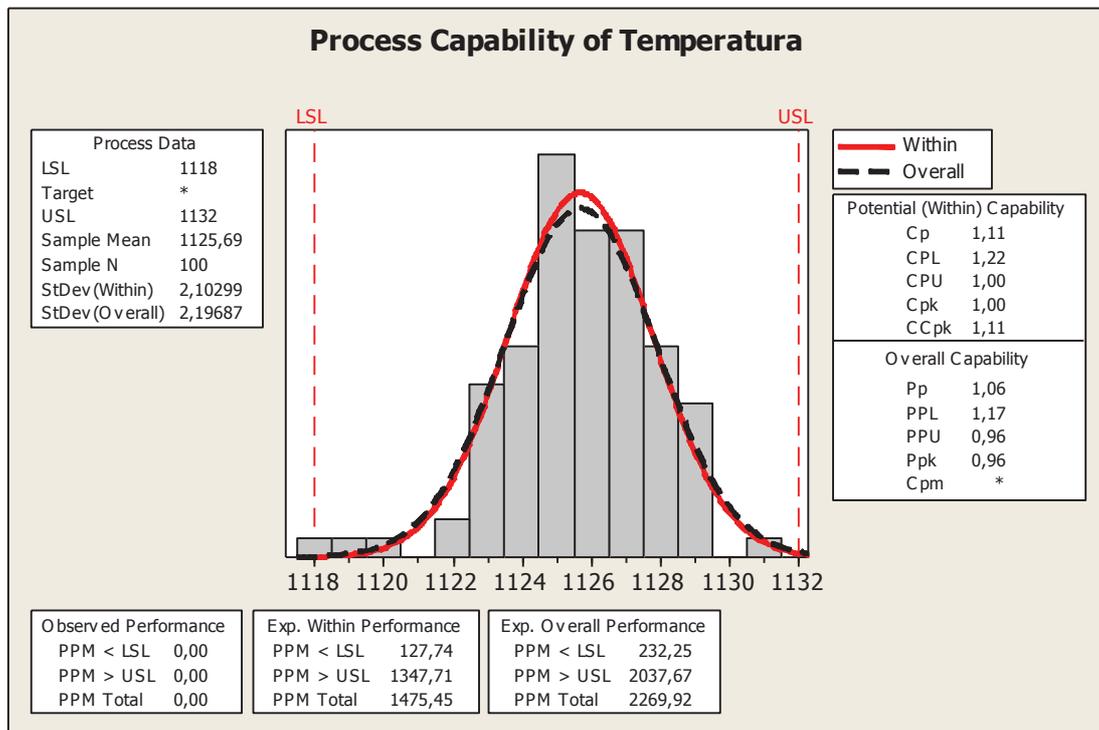
Este gráfico entrega información sobre la capacidad del proceso, y sobre otros parámetros importantes como la existencia de puntos fuera de los límites de control. En el gráfico anterior se puede observar lo siguiente:

- La media es: 1125,69
- La desviación estándar es: 2,19687
- El índice  $C_p=1,11$
- El índice  $C_{pk}=1$

Con estos datos se puede concluir que la Temperatura se encuentra bajo control ya que presenta una distribución normal y no existen puntos fuera de los límites. El índice  $C_p$  obtenido del proceso es 1,11, siendo un valor de 1,33 para por lo menos ser un proceso 3 Sigma. El índice  $C_{pk}$  es de 1, lo que indica que está dentro de 3 sigmas. Pero al proceso le falta mucho para llegar a los estándares de Seis Sigma.

Para obtener más detalles sobre el comportamiento de este proceso se aplica el análisis de capacidad:

Ilustración 3.11: Análisis de la capacidad del proceso Temperatura del metal fundido



Fuente: Autora

Del análisis de capacidad podemos concluir que el proceso de calibración de la temperatura es parcialmente capaz. Los errores que se producen son 2 269,92 por millón, siendo ésta una cantidad alta. Si el proceso no logra ser mejorado, seguiría escondiendo pérdidas de recursos económicos y de materiales a causa de reprocesamientos.

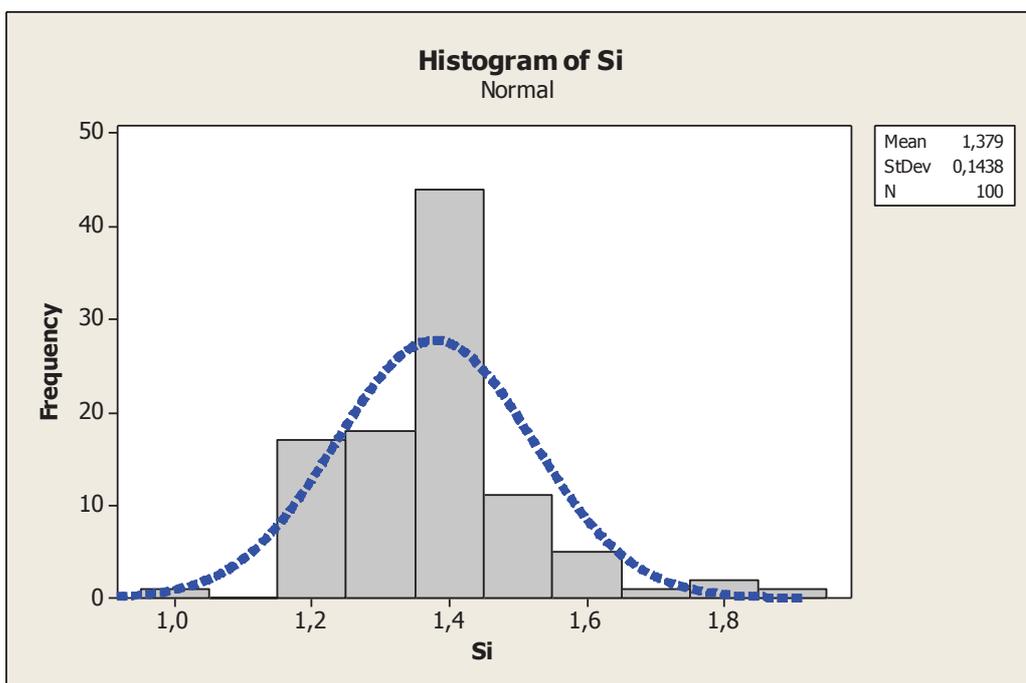
#### 4. Composición del metal:

Para medir esta variable crítica para el proceso, se obtienen datos de una prueba. Se analizará el porcentaje de silicio en el metal. Se elige esta variable,

porque el silicio es un componente crucial en la producción de hierro nodular; y de éste dependerá la nodularización y el contenido de ferrita y perlita.

Para realizar la prueba de contenido de silicio se toma una muestra del metal cuando la colada está lista. Se ingresa la muestra a la máquina que hace el análisis y arroja los datos.

Ilustración 3.12: Histograma Porcentaje de Silicio

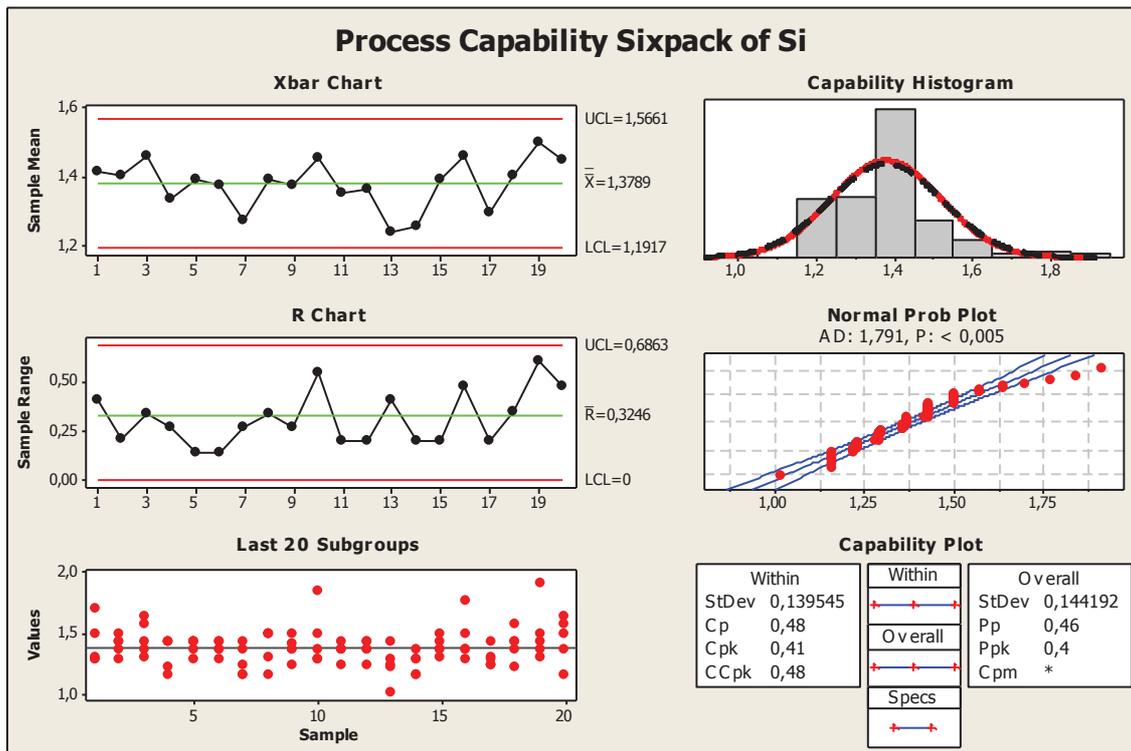


Fuente: Autora

De los datos ingresados se obtiene que la media es 1,379 % de silicio y la desviación estándar es de 0,1438.

Se aplica el Capability para saber más sobre el desempeño del proceso.

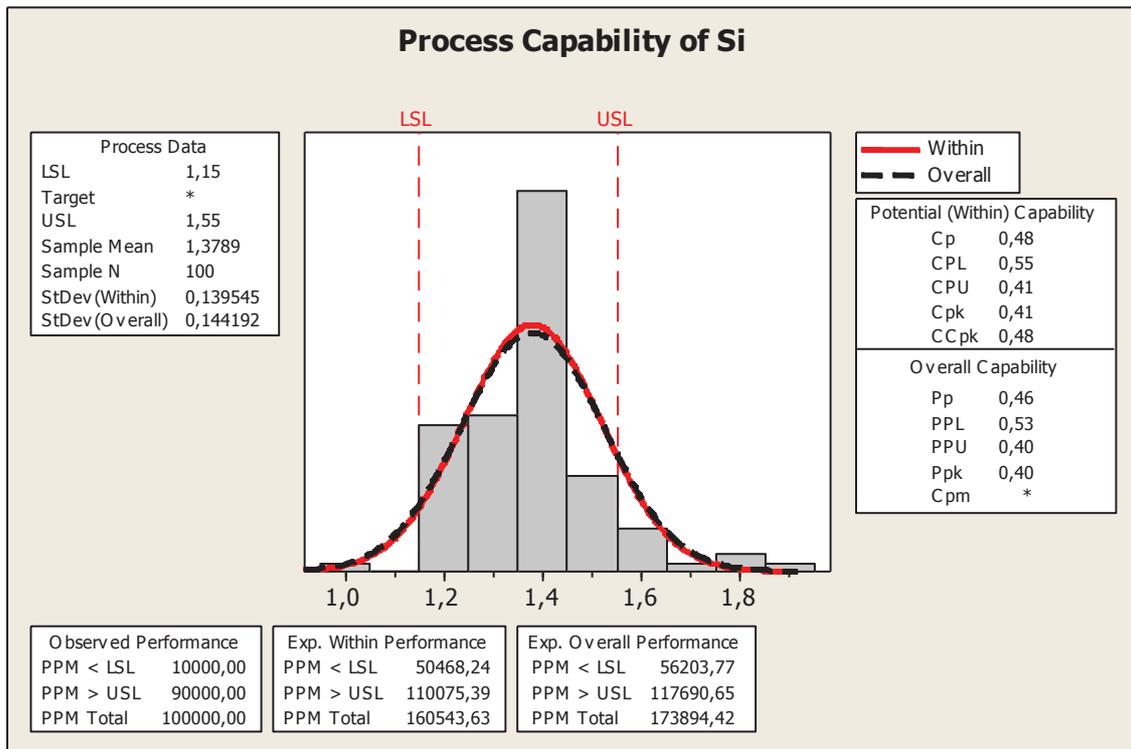
Ilustración 3.13: Sixpack de la capacidad del proceso Porcentaje de Silicio



Fuente: Autora

Los datos obtenidos de este análisis son poco alentadores. El Cp de 0,46 y el Cpk de 0,4 son valores realmente bajos, concluyendo que el proceso es incapaz. Para tener una mejor apreciación del proceso se emplea el análisis de capacidad.

Ilustración 3.14: Análisis de la capacidad del proceso porcentaje de Silicio



Fuente: Autora

La información obtenida del análisis de capacidad indica que el proceso está bastante centrado, en relación a los procesos analizados anteriormente. Aun así, se considera que el proceso es incapaz ya que se producen 173894,42 ppm defectuosas. La variabilidad es muy alta y no se encuentran muchas muestras con 1,35 % de silicio, que es el valor ideal del contenido de elemento.

### Resumen de la situación actual

Para tener una visión resumida de la situación actual de los procesos críticos para la producción de la Tapa y Cerco de 635 se elaboró un cuadro resumen con los datos finales del estudio de capacidad de los procesos. El indicador de porcentaje de no conformidad se tomó de las ppm totales para cada proceso, y se obtuvo su relación de porcentaje.

Tabla 3.13: Resumen de la situación actual

Resumen de la situación actual		
Proceso	Variable	Ppm no Conformidad
Preparación de arena	Humedad	864347,36
	Resistencia	822197,77
Fundición	Temperatura	2269,92
	Contenido de Si	173894,42

Fuente: Autora

Del cuadro anterior se puede concluir que el macro proceso con mayores problemas es el de preparación de arena, casi la totalidad de la producción está fuera de los límites de aceptación. Si bien el proceso de fundición tiene menor porcentaje de errores, está muy lejos de encontrarse dentro de los niveles 6 Sigma, por ende también se debe trabajar en mejorarlos.

### 3.2.2.4 Analizar

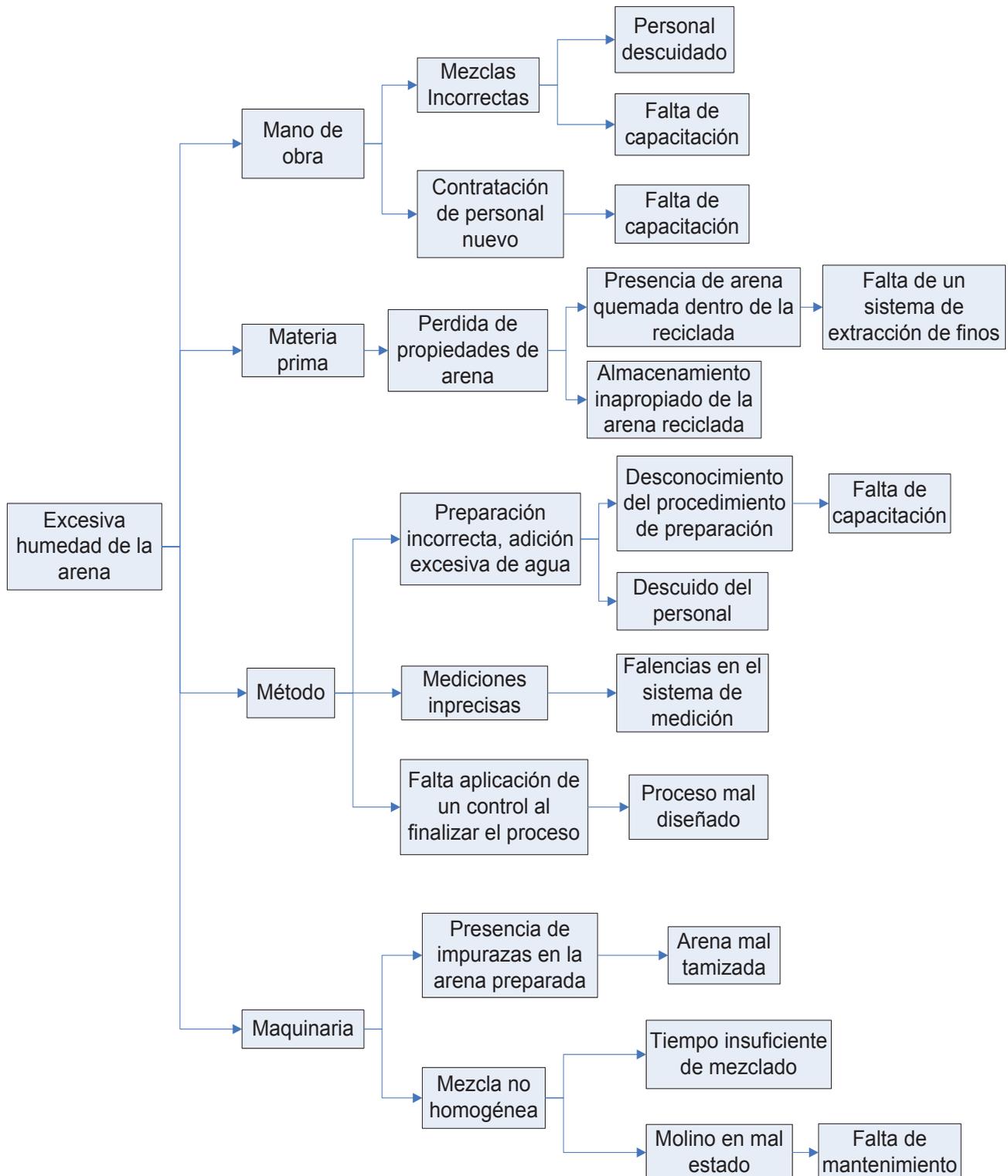
La fase Analizar es el siguiente paso para la aplicación de la metodología Seis Sigma. Consiste en encontrar las causas de los problemas anteriormente definidos y medidos. La herramienta empleada para encontrar las causas raíz es el diagrama de árbol.

#### 3.1.1.1 Identificación de causas: Diagrama de árbol

Esta herramienta permite estudiar los problemas y sus causas. Para la búsqueda de las causas raíz de los problemas determinados en JCR Fundiciones, se categorizaron las causas según las 4 M's del diagrama de Ishikawa, mano de obra, materia prima, método y maquinaria. La finalidad de esto es visualizar de mejor manera las causas y tenerlas separadas según su origen.

## Humedad de la arena:

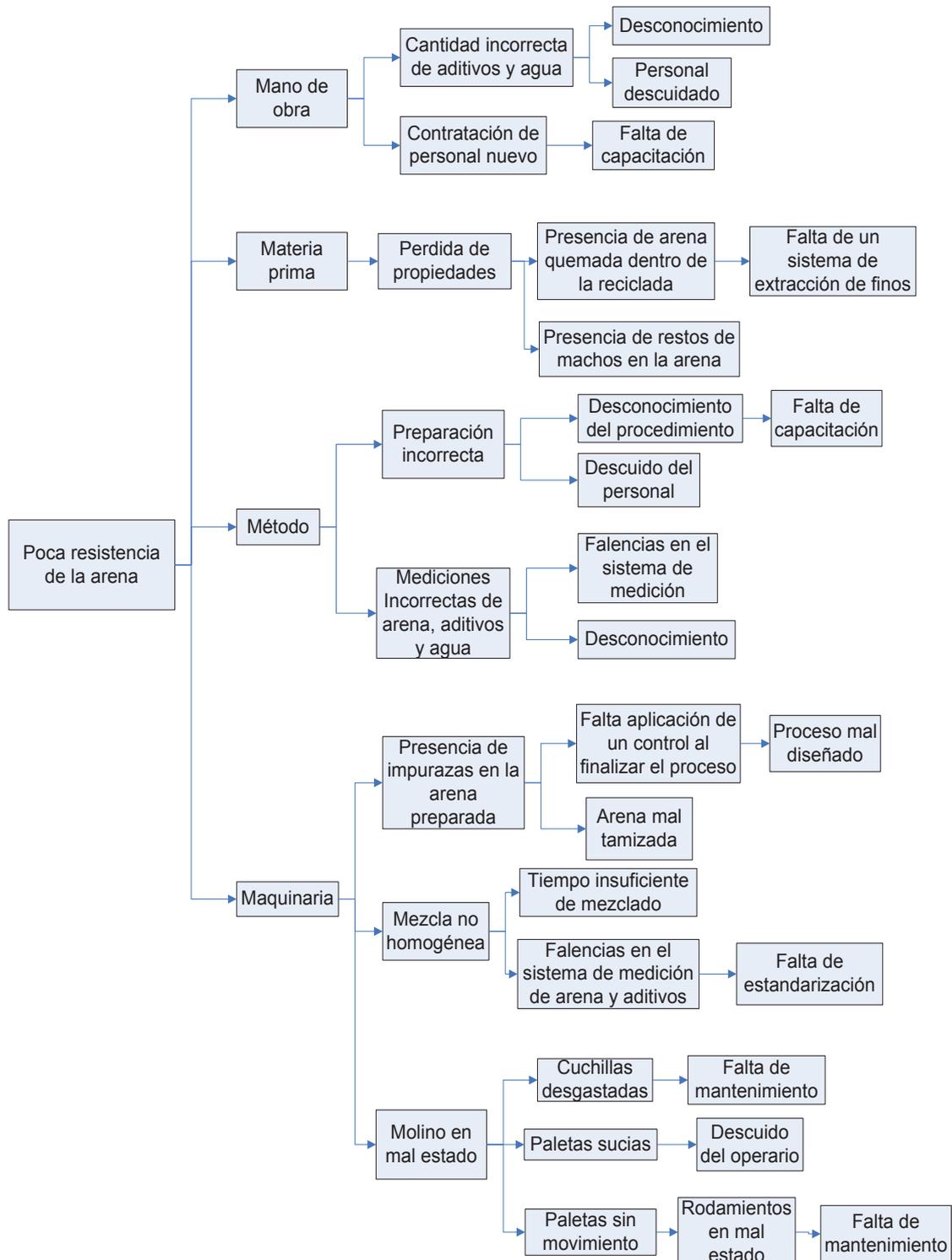
Diagrama 3.5: Identificación de causas de humedad excesiva de la arena



Fuente: Autora

## Resistencia de la arena:

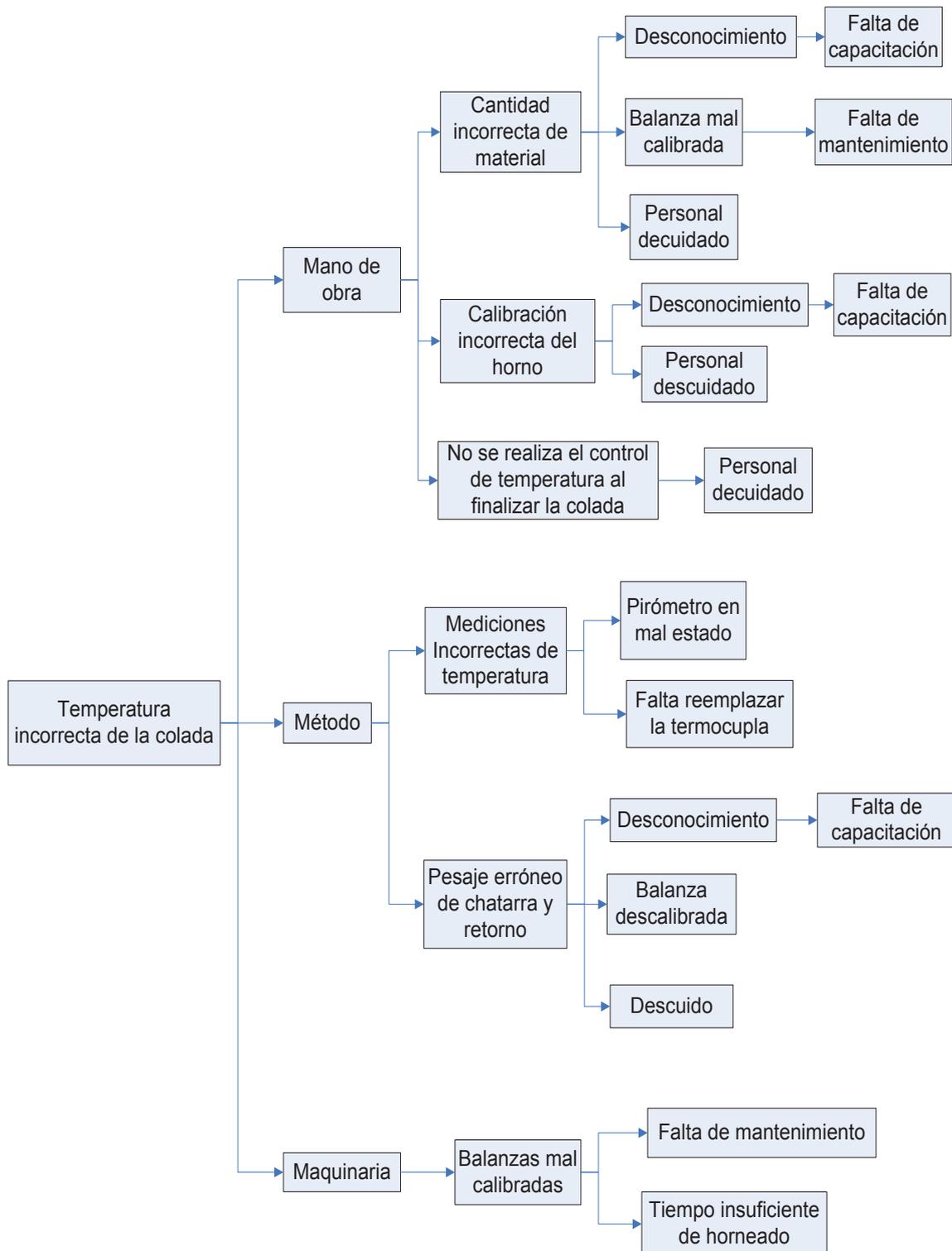
Diagrama 3.6: Identificación de causas de poca resistencia de la arena



Fuente: Autora

## Temperatura de la colada:

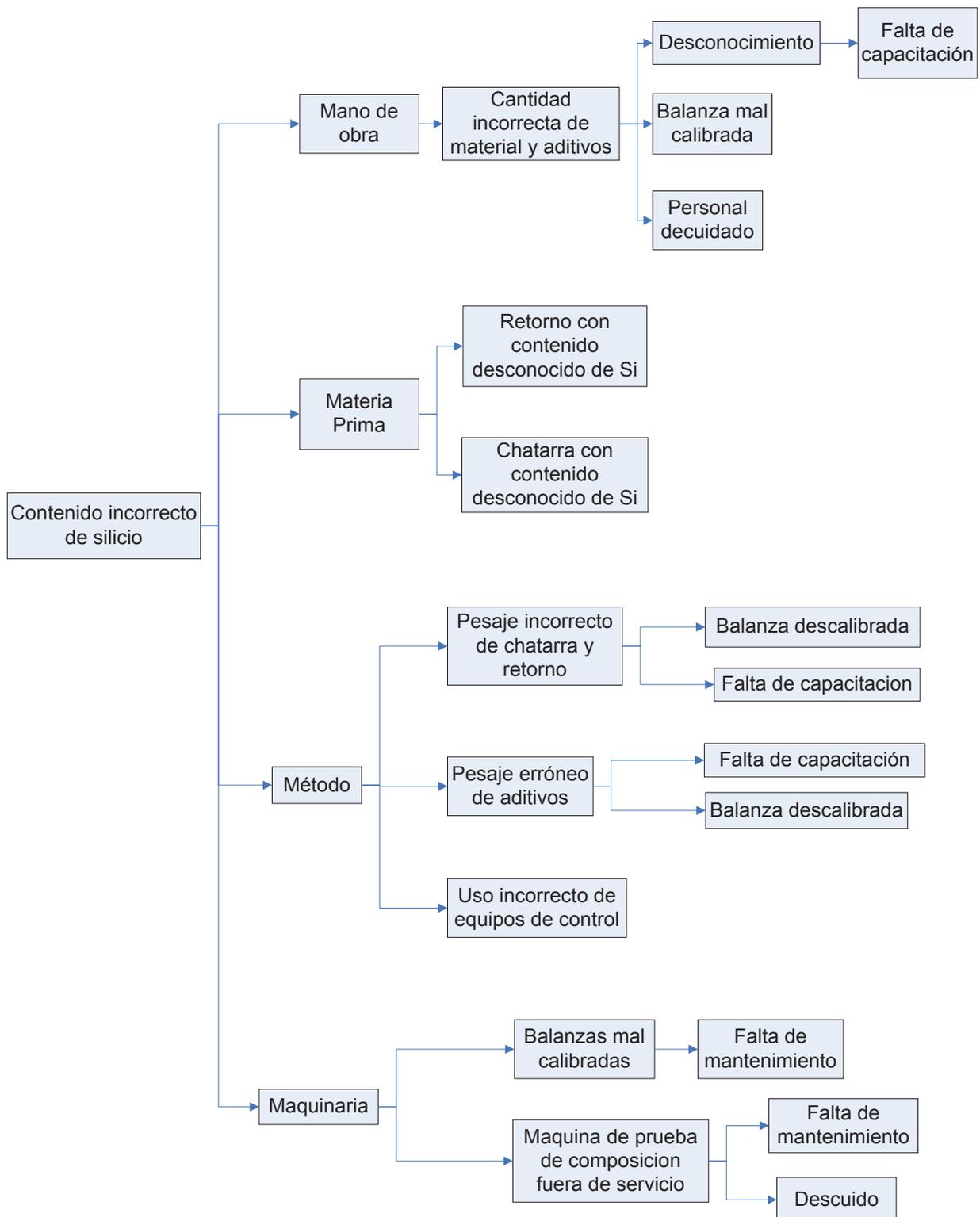
Diagrama 3.7 Identificación de causas para temperatura incorrecta de colada



Fuente: Autora

## Contenido de silicio:

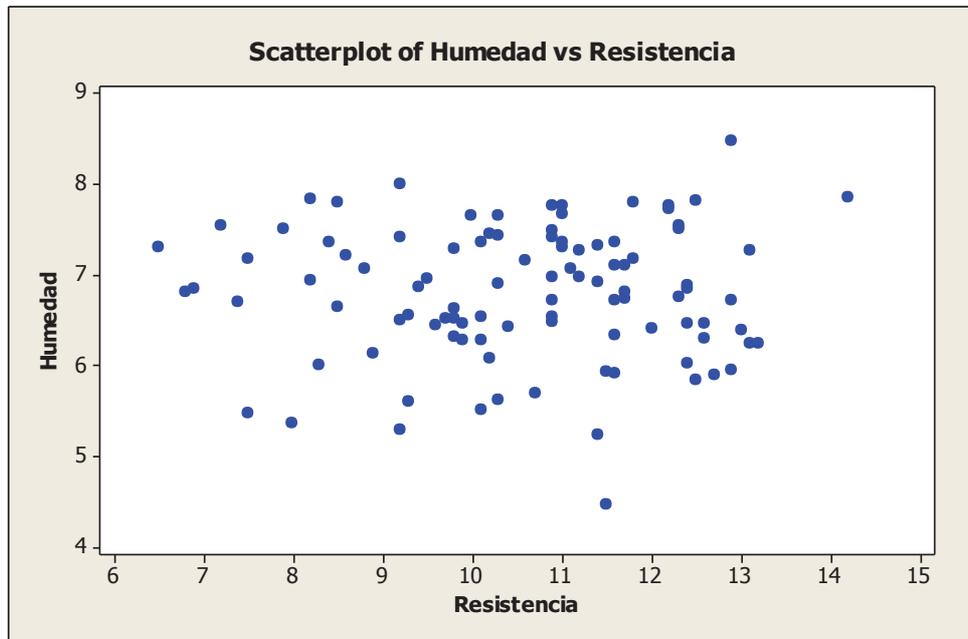
Diagrama 3.8: Identificación de causas de contenido incorrecto de silicio



Fuente: Autora

Para eliminar alguna sospecha sobre la existencia de correlación entre las variables humedad y resistencia, se aplica la herramienta de correlación Scatterplot.

Diagrama 3.9: Dispersión entre Humedad y Resistencia



Fuente: Autora

En el gráfico se aprecia claramente que los puntos están muy dispersos y no existe correlación entre las dos variables.

## **4. Capítulo IV: Descripción de la propuesta de mejora**

En este capítulo se buscarán y generarán las soluciones a las causas primarias encontradas anteriormente. Al igual que en la fase previa, se utilizará el diagrama de árbol para generar las soluciones.

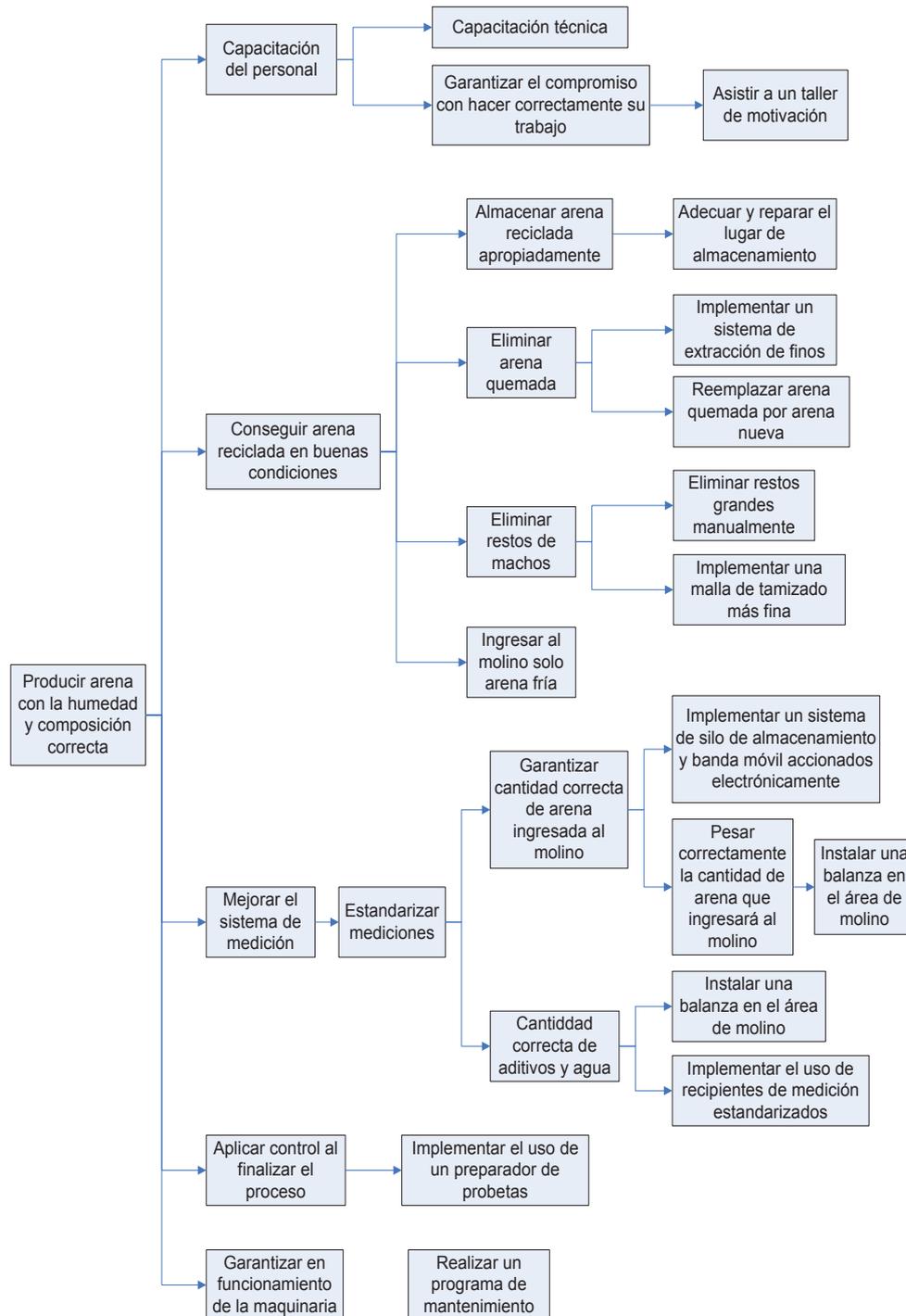
### **4.1. Búsqueda de soluciones primarias: Diagrama de árbol**

Para la generación de soluciones primarias a los problemas mayores de JCR Fundiciones, se decidió agruparlos en dos categorías grandes: la producción de arena de calidad, y la producción de metal fundido de calidad.

Igualmente, en los diagramas siguientes se generan soluciones según su clase. Posteriormente se escogerán las soluciones cuya aplicabilidad sea menos compleja y represente mayor impacto en la mejora de los procesos de JCR Fundiciones.

## 4.1.1. Garantizar La producción de Arena de Calidad

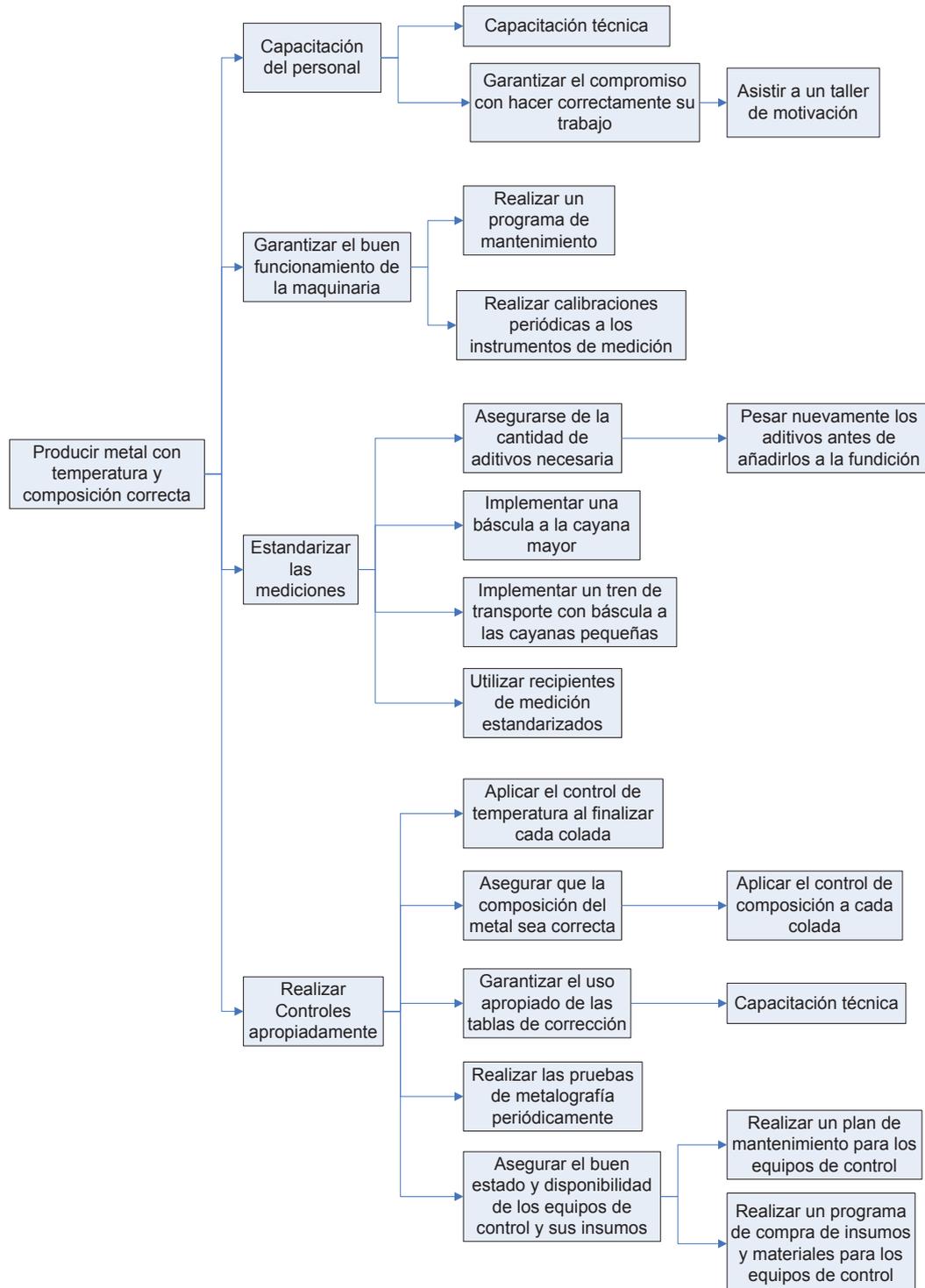
Diagrama 4.1.1: Generación de soluciones para producir arena con humedad y resistencia correctas



Fuente: Autora

## 4.1.2. Garantizar la Producción de metal de Calidad

Diagrama 4.1.2.1: Generación de soluciones para producir metal con temperatura y composición correcta



Fuente: Autora

### **4.1.3. Consideraciones prácticas para implantar la mejora**

Después de elaborados los diagramas de árbol y generadas las soluciones potenciales, se pasa a escoger las más viables y que mejor impacto tendrían en el desempeño de los procesos de JCR Fundiciones.

Consultando con el equipo, se concluye que para mejorar los procesos las soluciones que se deberían aplicar son:

- **Capacitación técnica**

Mediante la capacitación técnica se conseguirá que los operarios tengan los conocimientos necesarios sobre los procesos, los procedimientos para realizar su trabajo, las cantidades de materia prima y aditivos necesarias para conseguir un producto final de calidad. Así mismo se les deberá impartir capacitación sobre los efectos que causan los aditivos en la preparación tanto de arena como de metal fundido; y las propiedades que cada uno dará al producto. También es importante que entiendan que realizar los controles es indispensable para producir con calidad.

- **Taller de motivación**

Impartir un taller de motivación a todos los empleados les haría comprender que es indispensable que hagan su trabajo bien, ya que si producen menos defectos tanto la empresa como ellos obtendrían beneficios. Hacerles entender que son importantes para el éxito de la compañía en general, les levantará el ánimo, y tener empleados motivados será beneficioso, ya que serán más empeñosos en sus labores, serán más productivos y efectivos al realizar sus tareas; serán capaces de resolver los problemas pequeños y en

general estarán estimulados a hacer bien su trabajo. Una práctica que podría funcionar es dar reconocimiento a sus esfuerzos, bonos, días extra de vacaciones o placas de reconocimiento a los equipos que se desempeñen mejor en cuanto a productividad y efectividad.

- **Implementar un sistema de extracción de finos**

Mediante la implementación de un sistema de extracción de finos se lograría incrementar significativamente la calidad de la arena preparada. Idealmente se debería desechar la parte de arena que tiene contacto con el metal fundido, ya que esta pequeña porción de arena se quema y pierde sus propiedades. En la actualidad es imposible separar la arena quemada de la que se puede reutilizar. Una forma sencilla de lograrlo es implementar un sistema de extracción de finos; la arena quemada se vuelve muy fina y ligera, el método de extracción de la arena quemada es por soplado y aspiración. Este sistema es de funcionamiento e implementación muy sencilla, y se lograría mejorar notablemente la calidad de la arena.

- **Instalación de balanzas en el área de molino y fundición**

El garantizar que entre a los procesos la cantidad de materia prima correcta es crucial para la reducción de la variabilidad. En la preparación de arena actualmente se mide por paladas la cantidad que ingresa al molino, esto hace que el proceso se vuelva en extremo variable. Una solución viable y de aplicación rápida sería la implementación de una balanza, para pesar la arena (250 Kg/carga) antes de ser mezclada con los aditivos y el agua.

Igualmente para ésta área se recomienda instalar una báscula pequeña a fin de asegurar las cantidades de bentonita y carbonilla que se adicionen a cada carga del molino.

Para el área de fundición se recomienda instalar una báscula para la cayana de mayor tamaño. Al terminar cada colada se carga dos veces la cayana mayor, pero se lo hace según la percepción del hornero. Esta práctica es perjudicial para la calidad del metal ya que lo ideal sería vaciar cada vez la mitad exacta del contenido total del horno.

Así mismo sería favorable instalar una báscula para medir la cantidad de colada vaciada en cada cayana pequeña, puesto que a estas se les añade inoculante y escoriante, en cantidades iguales para cada cayana. Éstas son llenadas también según la percepción del operario, por ello se genera la variabilidad indeseada.

- **Implementar el uso de recipientes estandarizados de medición en el área de molino y fundición**

En general, la estandarización en todos los procesos de medición es una buena práctica de mejora. Específicamente se recomienda la implementación de recipientes de medición estandarizados. En el área de preparación de arena, la medición de aditivos y agua se realiza con recipientes que no tienen ningún tipo de medida o señal que indique las cantidades correctas, esto hace que la medición de aditivos y agua en la preparación de la arena de moldeo sea variable. Es necesario para el proceso contar con recipientes que tengan marcas para realizar las mediciones.

De similar forma se realiza la medición del escoriante en el área de fundición, para cada cayana se añade un puñado de escoriante. Esto hace que la cantidad de escoriante por cayana sea variable. Para aplacar esta condición se podría implementar un pequeño recipiente que contenga la cantidad correcta de escoriante.

La implementación de esta mejora sería de gran impacto para el desempeño del proceso, ya que se reduciría significativamente la variación, su aplicación no representa dificultades y la capacitación a los operarios sería sencilla.

- **Aplicar los controles necesarios para garantizar la conformidad del producto**

Antes de liberar el producto, tanto para el caso de la arena preparada, cuanto para el caso de la colada, se debería aplicar controles que garanticen la conformidad.

Para el caso de la arena el control a realizar es muy simple, consiste en emplear un preparador de probetas. Este mecanismo prepara una probeta de arena estándar, y mediante una escala integrada al equipo se puede verificar si la arena preparada está dentro de los límites de aceptación.

Para el proceso de fundición se deberían hacer tres controles que garanticen la calidad del metal. Primero se debería realizar un control de temperatura al estar lista la colada, un paso muy sencillo ya que se emplea un pirómetro electrónico.

En segundo lugar corresponde realizar la prueba de composición, que consiste en tomar una muestra de metal fundido e introducirla a la máquina que hace el análisis. La realización de esta prueba es muy sencilla pero actualmente no se aplica porque el equipo está fuera de servicio.

Por último es necesario hacer las pruebas de metalografía, que revelan la nodularidad, contenido de grafito y el porcentaje de ferrita y perlita. Esta

prueba se realiza preparando con ácido una muestra de metal y observándola bajo el microscopio.

- **Realizar un programa de mantenimiento**

Esta recomendación debería ser especialmente observada. Un programa de mantenimiento preventivo tendría efectos positivos en el desempeño general de la planta. En la actualidad a todos los equipos se les hace mantenimiento correctivo únicamente, es decir, se espera a que ocurra una falla para repararla, en lugar de prevenirla. Un programa de mantenimiento preventivo permitirá evitar paros en la producción, garantizar el funcionamiento óptimo de los equipos y alargar su vida útil.

Al igual que para los equipos de trabajo, a los equipos de control también se les debería aplicar un programa de mantenimiento preventivo. No es justificable que teniendo equipos de última generación, éstos estén fuera de servicio por falta de mantenimiento. Dichos equipos cumplen un rol importantísimo dentro de la producción, porque su uso garantiza que los productos que salen de JCR Fundiciones tienen las propiedades óptimas y cumplen completamente los requisitos del cliente.

## 4.2. Cronograma

A fin de dar una noción del tiempo necesario para la implementación de las propuestas se elaboró el siguiente cronograma:

Diagrama 4.2.1: Cronograma de evaluación e implementación de la propuesta de mejora

Id.	Nombre de tarea	Comienzo	Fin	Duración	Ene 2011				Feb 2011	
					2/1	9/1	16/1	23/1	30/1	6/2
1	Revisión y aprobación de mejoras propuestas	03/01/2011	07/01/2011	5d	■					
2	Planificar capacitación	10/01/2011	11/01/2011	2d		■				
3	Aplicar capacitación	17/01/2011	21/01/2011	5d			■			
4	Planificación y gestión de compra de equipos	10/01/2011	04/02/2011	20d		■				
5	Instalación de equipos	07/02/2011	11/02/2011	5d						■

Fuente: Autora

Se espera la culminación del presente trabajo a finales del mes de diciembre de 2010. Posteriormente se enviará a la gerencia de JCR Fundiciones, y se procederá a ejecutar las siguientes actividades:

- A.** El análisis y aprobación del plan durará una semana, del 3 al 7 de enero de 2011.
- B.** Posteriormente se planificarán las siguientes capacitaciones:
  - a. Capacitación técnica: Que deberá contemplar los procedimientos para cada función dentro de los procesos productivos. Se impartirá al personal dentro de los procesos de moldeo, fundición y terminados. Así como los controles aplicables a los distintos procesos.
  - b. Taller de motivación: Se deberá aplicar a todo el personal de JCR Fundiciones.

- c. Capacitación sobre programa de mantenimiento: Aplicado al personal de mantenimiento y jefe de producción.

La duración de la planificación para las capacitaciones será de dos días, el 10 y 11 de enero de 2011.

- C.** Posteriormente a ser planificadas las capacitaciones, éstas deberán ser impartidas al personal correspondiente durante la semana del 17 al 21 de enero de 2011.
- D.** La planificación y gestión de compras de equipos y maquinaria deberá englobar:
  - a. Selección de sistema de extracción de finos.
  - b. Selección de sistemas de medición: balanzas, básculas.
  - c. Estudio de instalaciones: se deberá analizar las instalaciones y adecuaciones necesarias para la implementación de los sistemas de básculas para las cayanas grandes y pequeñas. Las adecuaciones deberán empezar a hacerse inmediatamente después de haber sido definidas y diseñadas.
  - d. Selección o diseño de recipientes estandarizados para las mediciones.
  - e. Financiación: gestión de los recursos, prestamos.
  - f. Contratación de servicios externos: para instalación de los equipos adquiridos, y capacitación del personal de ser necesaria.
  - g. Compras.

Esta tarea durará cuatro semanas, del 10 de enero al 4 de febrero de 2011.

- E.** Instalación de los equipos: Se empleará la semana del 7 al 11 de febrero de 2011 para la instalación de los equipos adquiridos, y para la capacitación final de los operarios que la necesiten.

## 5. Capítulo V: Estudio económico

### Análisis beneficio-costo

#### 5 Análisis Beneficio-Costo

El objetivo de este capítulo es demostrar el beneficio económico que traería a la empresa la aplicación de la propuesta. En primer lugar se determinarán los costos totales de la aplicación de las mejoras, y en segundo lugar se estimarán los ahorros que se producirían por la reducción de desperdicios, reprocesos y defectos.

#### 5.1 Determinación de costos totales

Los costos de la implementación de las mejoras propuestas se detallan en la siguiente tabla:

Tabla 5.1: Costos totales de la propuesta de mejora

Ítem	Marca	Capacidad	Unidades	Costo unitario	Costo Total
Balanza gancho	DIGI	500 kg	1	952	952
Balanza gancho	DIGI	30 kg	1	353,45	353,45
Balanza de mesa	DIGI	15 kg	2	239,12	478,72
Sistema de extracción de finos	MU Co	250kg	1	3200	3200
Capacitación técnica		28 personas		30	840
Taller de motivación		60 personas		20	1200
Capacitación programa de mantenimiento		8 personas		30	240
					<b>7264,17</b>

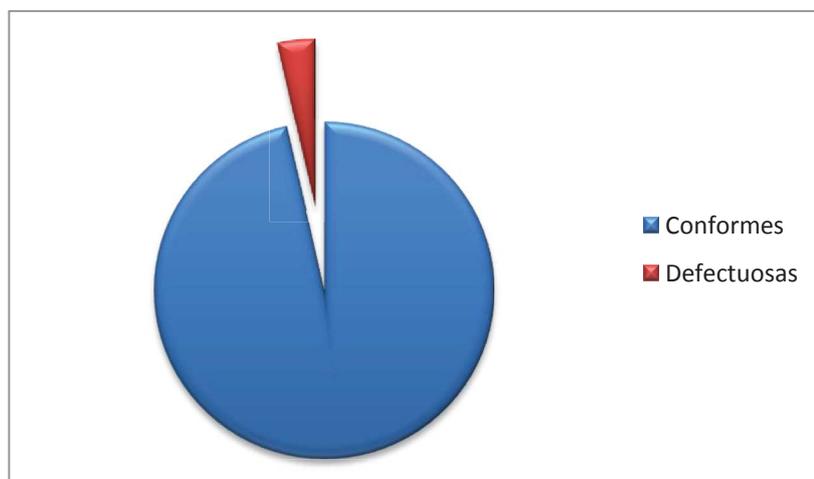
Fuente: Autora

El costo total de la implementación de las mejoras propuestas sería de \$7 264,17. Es una cantidad razonable de abordar para la empresa, y si no es posible abordarlo directamente, se puede optar por solicitar financiamiento a entidades bancarias o de apoyo al desarrollo de la industria.

## 5.2 Estimación ahorros

En la actualidad JCR Fundiciones produce aproximadamente 105 toneladas brutas de hierro nodular al mes. De las cuales aproximadamente 87500 son la producción neta después de cortados los vaciaderos. De éstas, 3,01 en promedio toneladas son rechazadas por defectos (ver anexo 5). Esto representa el 3,49%, ó 34 900 partes por millón defectuosas, hablando en métrica Seis Sigma. Es una cantidad muy elevada y se considera que aplicando las mejoras recomendadas se lograría reducir esta cantidad en un 95%, es decir, al 0,17% o 1745 partes por millón. Es una cantidad mucho menor, pero aún está fuera de los objetivos del Seis Sigma.

Diagrama 5.1: Producción conforme y defectuosa



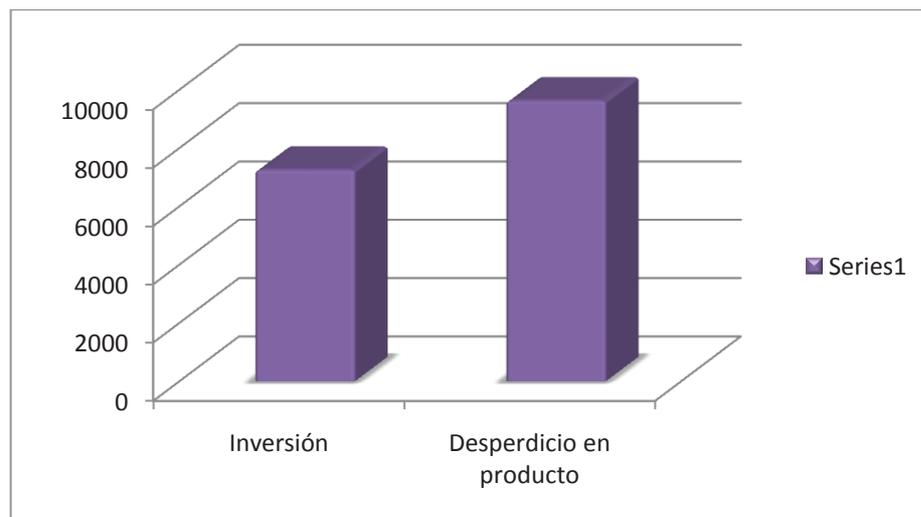
Fuente: Autora

Aún así los ahorros logrados serían muy representativos para la empresa. Ya que los 3 049 kg rechazados mensualmente representan 80 juegos de tapa y cerco de 635mm, lo cual se traduce en \$9 630 mensuales.

**Tabla 5.2: Comparación inversión vs Ahorro mensual**

Inversión	Desperdicio en producto
\$ 7 254,17	\$ 9 630

Fuente: Autora



**Gráfico 1 Comparación inversión vs. Ahorro mensual**

Fuente: Autora

En el gráfico anterior se observa que incluso al primer mes de implementadas las mejoras, se recuperaría la inversión inicialmente realizada.

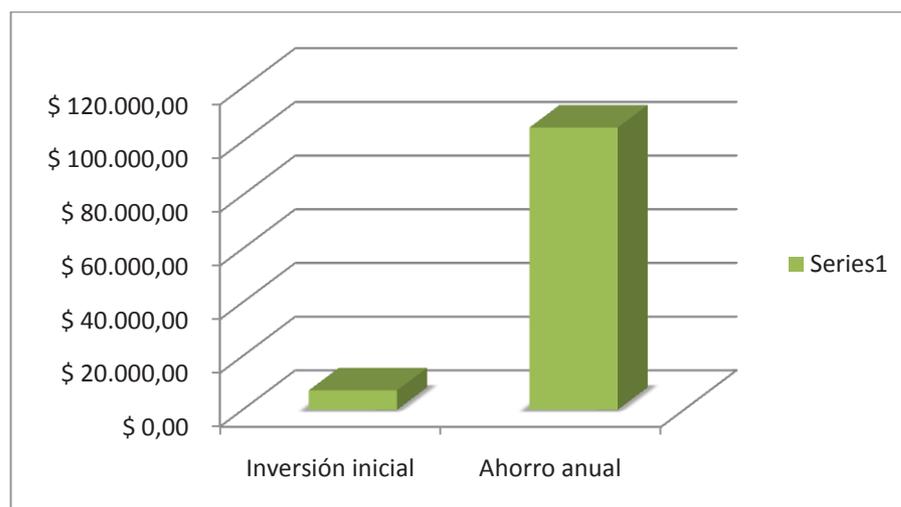
Una analogía que se puede aplicar para entender mejor la magnitud de los rechazos es que, en el horno de inducción se procesan 400 kg en cada colada, los 3 049 kg representan aproximadamente 8 coladas. Al durar la producción de cada colada una hora, en mes se desperdicia una jornada entera de trabajo en producir defectos. A lo cual se también se suman los costos de energía empleados por el horno, y los costos de materia prima, mano de obra de toda la jornada, y materiales. Esto representa \$1 475, y sumándole las 3,05 toneladas de materia prima, da un total de \$8 765.

Esto último multiplicado por los 12 meses de un año es **\$105 180**. Las implementaciones de la propuesta, con el mantenimiento adecuado, los equipos tendrán una vida útil de mínimo 5 años.

**Tabla 5.3 Relación inversión- ahorro**

Inversión inicial	Ahorro anual	Relación de ahorro
\$ 7 254,17	\$ 105 180	14,499

Fuente: Autora



**Gráfico 2 Relación inversión – ahorro**

Fuente: Autora

Queda demostrado que en menos de un año se recuperaría la inversión hecha, y los ahorros anuales serán de 14,5 veces la inversión inicial.

La empresa debería considerar seriamente la propuesta realizada en este trabajo ya que aparte de los beneficios no serán solamente para el producto elegido en la fase "define", se emplean la misma arena y el mismo metal fundido para la elaboración de todos los productos en hierro nodular, por ende todos se verán igualmente beneficiados. Si la mejora se aplica, la contribución de la misma no solo se verá en los términos económicos antes mencionados, también se mejorarían aspectos intangibles como la motivación de los trabajadores y la imagen de la empresa.

## 6. Capítulo VI: Conclusiones y Recomendaciones

### 6.1 Conclusiones

1. La empresa JCR Fundiciones en los últimos meses ha experimentado un crecimiento rápido de la demanda, lo que obligó a JCR a crecer también, pero desordenadamente. De este desarrollo violento surgen varios de los problemas que actualmente cursa como: Exceso de desperdicios, reprocesos en la producción, capacidad limitada, retraso en el cumplimiento de los pedidos, entre otros.
2. La diagramación de los procesos de JCR Fundiciones fue muy útil, porque permitió visualizar el estado actual de los mismos, identificar proveedores, entradas, procesos, salidas y clientes. Mediante la visualización del diagrama se tiene una real percepción del estado de los procesos y si se considera necesario se podrían realizar mejoras haciendo cambios en los diagramas directamente.
3. La aplicación de la metodología Seis Sigma en el caso de JCR Fundiciones ha sido una herramienta extremadamente útil y poderosa para identificar, medir, encontrar causas y proponer soluciones a sus problemas. Se ha comprobado que, en especial en el campo industrial, ésta metodología es muy práctica ya que con sus pasos básicos su aplicabilidad es muy alta y no representa dificultades mayores.
4. Se logró identificar las causas primarias de los problemas definidos previamente, mediante el uso del diagrama de árbol, que es un instrumento de fácil empleo y que presenta resultados categorizados, lo cual permite una mejor percepción del problema y sus orígenes.
5. Se generaron las soluciones para las causas primarias de los problemas. Para este fin, se utilizó también el diagrama de árbol, y se consiguió esquematizar las soluciones según sus tipos.
6. Posteriormente, se escogieron las soluciones con mejor viabilidad y mayor impacto en la mejora del desempeño de los procesos de JCR Fundiciones;

con ellas se creó un plan de mejora, el mismo que contempla los recursos necesarios para su aplicación.

7. Finalmente mediante el estudio costo - beneficio, se logró comprobar que la aplicación de la propuesta traería beneficios económicos muy significativos y que la inversión hecha para la aplicación de las mejoras, se justifica totalmente según la estimación de los ahorros.

## 6.2 Recomendaciones

En la siguiente sección se plantean algunos consejos para la aplicación de la propuesta, así como para mejorar el desempeño general de la organización:

1. Como recomendación general se aconseja a la empresa aplicar las mejoras propuestas en el presente trabajo ya que mediante el análisis costo - beneficio se comprobó su factibilidad.
2. Se debería empezar a analizar y mejorar todos los demás procesos de la organización, esto ayudaría en general a tener una empresa más ordenada, especialmente se recomienda emplear la gestión por procesos y herramientas como 5S's y Lean Production, las mismas que aplicadas correctamente serían de gran beneficio a nivel organizacional.
3. Se recomienda implementar un sistema de seguridad y salud ocupacional, este es un aspecto que se ha descuidado en JCR Fundiciones, y debe ser tomado en cuenta lo más pronto posible ya que la industria de la fundición es de alto riesgo, y los peligros a los que están expuestos los empleados deberían ser estudiados para minimizar los posibles efectos indeseables en su salud, la infraestructura de la empresa y la sociedad.
4. Para mejorar el aspecto de la productividad, aparte de las propuestas sugeridas se debería considerar la implementación de un sistema de arenas, con esto se conseguiría producir más y mejores moldes, lo cual se vería reflejado económicamente en disminución de defectos y aumento de productividad.
5. Para finalizar, la empresa debería entrar en un proceso de mejora continua, este paso es fundamental para incrementar la competitividad de la organización, lo que le permitiría crecer, entrar a competir con mayor fuerza en el mercado nacional y proyectarse de mejor forma para sostener el comercio internacional de sus productos. Para esto es indispensable conseguir asegurar la calidad de sus productos, para cumplir los requisitos de sus clientes, y en eso precisamente se enfoca el presente trabajo.

## BIBLIOGRAFÍA

### Libros

APRAIZ, J. (1998). *FUNDICIONES*. Madrid: Inversiones Editoriales DOSSAT 2000.

CCORREA DE MOURA, E. (2009). *Formación de especialistas Six Sigma Green Belt*. Moura Quali Plus.

CORREA DE MOURA, E. (2009). *Lean Production: Fundamentos del sistema Toyota de producción*. Quito: Moura Quali Plus.

RAMÍREZ, J. L. (1995). *Producción de Hierro Nodular*. Mexico: INSERNOVA.

### Fuentes electrónicas

FAY, E. (Julio de 2008). *Editum.org*. Recuperado el Agosto de 2010, de <http://www.editum.org/Hierro-p-1283.html>

FLORES CRUZ, D. (Octubre de 2004). *Mailxmail*. Recuperado el Agosto de 2010, de <http://www.mailxmail.com/curso-introduccion-ciencia-materiales/clasificacion-materiales-metales-1>

LEFCOVICH, M. (Noviembre de 2003). *Gestiopolis*. Recuperado el 20 de 08 de 2010, de <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger1/parassiglefc.htm>

PAREDES R., F. (2009). *4 Shared*. Recuperado el Agosto de 2010, de <http://search.4shared.com/q/30/lean%20manufacturing>

QUESADA M., G. (s.f.). *El Prisma*. Recuperado el 20 de Agosto de 2010, de [http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria\\_industrial/conceptodeseissigma/](http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria_industrial/conceptodeseissigma/)

VENEGAS SOSA, R. (Noviembre de 2005). *Gestiópolis*. Recuperado el Agosto de 2010, de <http://www.gestiopolis.com/recursos5/docs/ger/cincos.htm>

CHAPMAN, A. (2005). *Businessballs*. Retrieved Julio 28, 2010, from <http://www.businessballs.com/sixsigma.htm>

## 7. ANEXOS

### Anexo 1

Datos de medición de humedad de la arena

Subgrupo	Porcentaje de Humedad				
1	6,47	7,06	6,94	6,02	8,47
2	6,52	7,06	6,32	6,5	7,31
3	6,9	6,56	6,82	7,55	7,5
4	6,44	6,84	7,65	7,3	7,8
5	6,96	7,48	7,42	7,36	7,36
6	7,18	7,1	6,52	7,26	7,76
7	7,16	6,74	7,36	7,54	7,18
8	7,44	7,36	7,26	7,22	7,72
9	7,68	7,46	7,84	7,42	7,76
10	8	7,82	7,66	6,28	6,34
11	6,64	7,86	7,76	6,42	5,62
12	6,48	7,1	7,8	6,24	6,84
13	6,82	6,86	7,28	6,54	6,62
14	6,76	7,32	6,72	5,36	6,46
15	6,7	6,39	6,92	5,7	5,9
16	6,72	5,3	6,41	5,92	4,46
17	6,24	6,3	7,5	6,46	6,88
18	5,24	5,94	6,08	6,28	5,96
19	6,54	5,48	5,6	6	6,14
20	5,84	6,72	5,52	6,98	6,98

## Anexo 2

Datos de medición de resistencia de la arena

<b>Subgrupo</b>	<b>Resistencia (Psi)</b>				
1	9,9	8,8	8,2	12,4	12,9
2	9,8	11,1	9,8	9,2	6,5
3	10,3	9,3	6,8	7,2	7,9
4	9,6	6,9	10	11	8,5
5	9,5	10,9	9,2	11	8,4
6	7,5	11,6	9,7	11,2	11
7	10,6	11,7	10,1	12,3	11,8
8	10,3	11,6	13,1	8,6	12,2
9	11	10,2	8,2	10,9	10,9
10	9,2	12,5	10,3	10,1	11,6
11	8,5	14,2	12,2	10,4	10,3
12	10,9	11,7	11,8	13,1	12,4
13	11,7	9,4	9,8	10,1	9,8
14	12,3	11,4	10,9	8	12,4
15	7,4	13	11,4	10,7	12,7
16	12,9	9,2	12	11,6	11,5
17	13,2	12,6	12,3	12,6	12,4
18	11,4	11,5	10,2	9,9	12,9
19	10,9	7,5	9,3	8,3	8,9
20	12,5	11,6	10,1	11,2	10,9

### Anexo 3

Medición de temperatura del metal fundido, después de periodo de enfriamiento.

Subgrupo	Temperatura (°C)				
1	1129	1127	1127	1127	1124
2	1124	1123	1127	1125	1125
3	1123	1122	1127	1125	1126
4	1125	1125	1129	1128	1125
5	1127	1125	1125	1125	1123
6	1125	1127	1125	1126	1126
7	1129	1128	1125	1126	1129
8	1127	1129	1124	1124	1124
9	1126	1128	1124	1123	1125
10	1124	1127	1126	1127	1119
11	1126	1123	1126	1128	1126
12	1123	1128	1126	1125	1125
13	1128	1128	1125	1131	1128
14	1127	1129	1127	1129	1126
15	1123	1127	1124	1126	1125
16	1126	1126	1120	1127	1124
17	1125	1127	1127	1128	1128
18	1126	1128	1123	1125	1125
19	1124	1125	1126	1127	1118
20	1129	1123	1122	1124	1126

### Anexo 4

Contenido de silicio en el metal

<b>Subgrupo</b>	<b>Porcentaje de Silicio</b>				
1	1,7	1,3	1,29	1,29	1,5
2	1,5	1,37	1,29	1,43	1,43
3	1,57	1,64	1,3	1,43	1,37
4	1,43	1,43	1,16	1,22	1,43
5	1,29	1,43	1,43	1,43	1,37
6	1,43	1,29	1,43	1,36	1,36
7	1,16	1,23	1,43	1,37	1,16
8	1,3	1,16	1,5	1,5	1,5
9	1,36	1,23	1,5	1,37	1,42
10	1,5	1,29	1,36	1,29	1,84
11	1,37	1,43	1,37	1,23	1,37
12	1,37	1,23	1,36	1,43	1,43
13	1,28	1,22	1,43	1,02	1,23
14	1,29	1,16	1,29	1,16	1,36
15	1,37	1,3	1,5	1,37	1,43
16	1,37	1,36	1,77	1,29	1,5
17	1,43	1,29	1,3	1,23	1,23
18	1,36	1,22	1,57	1,43	1,43
19	1,5	1,43	1,37	1,3	1,91
20	1,16	1,57	1,64	1,5	1,36

## Anexo 5

## Producción del mes de Noviembre de JCR Fundiciones

NOVIEMBRE DE 2010 HIERRO NODULAR											
REFERENCIA	PESO BRUTO CON VACIADERO	PESO UNITARIO	PRODUCCION EN UNIDADES	RECHAZOS UNDS	RECHAZO KILOS	TOTAL UNDS BUENAS	KILOS PRODUCIDOS BRUTOS	TOTAL KILOS PRODUCIDOS NETOS	KILOS DESPUES DE RECHAZOS	% DE RECHAZOS UNDS	% DE RECHAZOS KILOS
TAPA 635 125 KN	30,5	27,0	1262	49	1323	1213	38491	34074	32751	3,88	3,88
CERCO 635 125 KN	12,1	11,0	1295	47	517	1248	15669,5	14245	13728	3,63	3,63
TAPA 600 250 KN	41,0	39,0	4	0	0	4	164	156	156	0,00	0,00
CERCO 600 250 KN	23,0	21,0	4	0	0	4	92	84	84	0,00	0,00
TAPA 535	22,0	20,0	134	1	20	133	2948	2680	2660	0,75	0,75
CERCO 535	11,5	10,0	79	1	10	78	908,5	790	780	1,27	1,27
TAPA 600-125KN	25,5	24,0	74	1	24	73	1887	1776	1752	1,35	1,35
CERCO 600-125KN	11,0	10,0	63	2	20	61	693	630	610	3,17	3,17
TAPA 742-125KN	47,9	45,5	90	0	0	90	4311	4095	4095	0,00	0,00
CERCO 742-125KN	35,8	30,8	100	3	92,4	97	3580	3080	2987,6	3,00	3,00
TAPA DE 60 X 60	37,2	31,0	75	1	31	74	2790	2325	2294	1,33	1,33
CERCO DE 60 X 60	8,4	7,0	77	3	21	74	646,8	539	518	3,90	3,90
TAPA 40X40	15,8	13,4	2	0	0	2	31,6	26,8	26,8	0,00	0,00
CERCO 40X40	8,0	6,7	2	0	0	2	16	13,4	13,4	0,00	0,00
TAPA 800X300	43,2	36,0	3	2	72	1	129,6	108	36	66,67	66,67
CERCO HUNTER	3,0	2,6	1920	106	275,6	1814	5760	4992	4716,4	5,52	5,52
TAPA HUNTER	2,90	2,00	2069	75	150	1994	6000,1	4138	3988	3,62	3,62
TAPA FLIP	0,38	0,25	2082	45	11,25	2037	791,16	520,5	509,25	2,16	2,16
REJILLA 300 X 600	18,0	15,8	176	0	0	176	3168	2780,8	2780,8	0,00	0,00
CERCO DE 300 X 600	16,0	13,4	138	9	120,6	129	2208	1849,2	1728,6	6,52	6,52
CERCO 320 X 570	14,8	11,6	74	3	34,8	71	1095,2	858,4	823,6	4,05	4,05
REJILLA 320 X 570	18,5	11,7	61	1	11,7	60	1128,5	713,7	702	1,64	1,64
CAJA VALVULA 6"	6,4	5,4	58	0	0	58	371,2	313,2	313,2	0,00	0,00
RETAINER 12"	12,5	8,6	410	6	51,6	404	5125	3526	3474,4	1,46	1,46
RETAINER 8"	3,1	2,3	789	67	154,1	722	2445,9	1814,7	1660,6	8,49	8,49
RETAINER 6"	3,10	1,5	364	21	31,5	343	1128,4	546	514,5	5,77	5,77
COLLARIN 63MM	0,70	0,5	1032	94	49,82	938	722,4	546,96	497,14	9,11	9,11
MASA	17,00	15,0	3	0	0	3	51	45	45	0,00	0,00
BOCIN	2,50	2,0	40	14	28	26	100	80	52	35,00	35,00
PIEZAS JEFE	2,2	2,0	2	0	0	2	4,4	4	4	0,00	0,00
<b>TOTAL NODULAR</b>			<b>12482</b>	<b>551</b>	<b>3049,37</b>	<b>11931</b>	<b>102457,26</b>	<b>87350,66</b>	<b>84301,29</b>	<b>4,62</b>	<b>3,49</b>

## Anexo 6

## Proformas

Balanza colgante 500 Kg

 <b>la competencia s.a.</b> <small>R.U.C.:1790001075001</small> <small>Pasaje N44B No.E10-26 Intersección Av. 6 de Diciembre Teléfono:(593) 2 396-5200 QUITO, PI 17-01-02172 ECUADOR Fax: (593) 2 396-5279</small>		<b>PROFORMA</b> No.: <b>23,459</b> Fecha: 17/12/2010		
<small>www.competencia.com.ec</small> <small>ventas@competencia.com.ec</small> R.U.C.: 1704450574001      Cod.Cli.: 9119		PREPARADO POR: AZUCENA MORALES E-MAIL:		
<b>RECALDE CARVAJAL JUAN CARLOS</b> AV. GENERAL ENRIQUEZ 4885 Y VIA A TAMBILLO FUNDICIONES JUAN CARLOS RECALDE SANGOLQUI, PI ECUADOR      Tlf.: 233-3891      Job: FACTURACION		Job: FACTURACION      TLF .OF.: 398-5200      EXT.: 283 TLF .CEL.:		
<b>SRTA. GABRIELA BERMUDEZ</b> 233-3888				
<b>Cant.</b>	<b>Código</b>	<b>Descripción</b>	<b>Precio Un.</b>	<b>Total</b>
1	LCTW40010345	OCS-0.5T BALANZA DIGI COLGANTE/GANCHO, INCLUYE VISOR Y CONTROL REMOTO	850.0000	850.00
<b>ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL 12.00 % del I.V.A.</b>			<b>TOTAL:</b>	<b>850.00</b>
<b>INDICACIONES ESPECIALES</b>				
GARANTIA: UN AÑO CONTRA DEFECTOS DE FABRICACIÓN LA MARCA ES DIGI PROCEDENCIA JAPON PRECIO \$850.00				
_____ <b>Aprobación del Cliente</b>		_____ <b>Fecha</b>		_____ <b>Vendedor</b>
<small>Nota: Comunicamos a nuestros Clientes que a partir del 1 de Enero del 2000, hemos sido designados, CONTRIBUYENTES ESPECIALES por el S.R.L., por lo tanto no procede aplicar retenciones del I.V.A.</small>				

Balanza colgante 30 Kg

**la competencia s.a.**  
 R.U.C.: 1790001075001 PONE EL CONTROL EN SUS MANOS  
 Pasaje N448 No. E10-26 Intersección Av. 6 de Diciembre Teléfono: (593) 2 396-5200  
 QUITO, PI 17-01-02172 ECUADOR Fax: (593) 2 396-5279

**PROFORMA**

No.: **23,460**  
 Fecha: 17/12/2010

www.competencia.com.ec

ventas@competencia.com.ec

R.U.C.: 1704450574001

Cod.Cli.: 9119

PREPARADO POR: AZUCENA MORALES

**RECALDE CARVAJAL JUAN CARLOS**

E-MAIL:

AV. GENERAL ENRIQUEZ 4885 Y VIA A TAMBILLO

TLF .OF.: 398-5200 EXT.: 283

FUNDICIONES JUAN CARLOS RECALDE

SANGOLQUI PI ECUADOR

Tfn.: 233-3891

Job: FACTURACION

Job: FACTURACION

TLF .CEL.:

SR. REINALDO GARZON 3333891 EXT. 102

Cant.	Código	Descripción	Precio Un.	Total
2	LCTW40010303	DS682H 30KG BALANZA DIGI COLGANTE	315.0000	630.00

ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL 12.00 % del I.V.A.

**TOTAL: 630.00**

Tiempo de Entrega:

Válidez de la Oferta:

31/12/2010

Forma de Pago: CONTADO

**INDICACIONES ESPECIALES**

GARANTIA: UN AÑO CONTRA DEFECTOS DE FABRICACION

BALANZA OFERTADA COLGANTE

CAPACIDAD 30 KILOS

MARCA DIGI

PROCEDENCIA JAPON

Aprobación del Cliente

Fecha

Vendedor

Nota: Comunicamos a nuestros Clientes que a partir del 1 de Enero del 2000, hemos sido designados, **CONTRIBUYENTES ESPECIALES** por el S.R.L., por lo tanto no procede aplicar retenciones del I.V.A.

## Balanza de mesa a baterías 15 Kg

 <b>la competencia s.a.</b> R.U.C.: 1790001075001    PONE EL CONTROL EN SUS MANOS Pasaje N44B No. E10-26 Intersección Av. 6 de Diciembre Teléfono: (593) 2 396-5200 QUITO, PI 17-01-02172 ECUADOR    Fax: (593) 2 396-5279		<b>PROFORMA</b> No.: <b>23,461</b> Fecha: 17/12/2010																
www.competencia.com.ec    ventas@competencia.com.ec R.U.C.: 1704450574001    Cod.Cli.: 9119		PREPARADO POR: AZUCENA MORALES E-MAIL: TLF .OF.: 398-5200    EXT.: 283 Job: FACTURACION    TLF .CEL.:																
<b>RECALDE CARVAJAL JUAN CARLOS</b> AV. GENERAL ENRIQUEZ 4885 Y VIA A TAMBILLO FUNDICIONES JUAN CARLOS RECALDE SANGOLQUI, PI ECUADOR    Tlf.: 233-3891    Job: FACTURACION		Job: FACTURACION    TLF .CEL.:																
<b>SR. REINALDO GARZON</b> 2333891 EXT. 102																		
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Cant.</th> <th>Código</th> <th>Descripción</th> <th>Precio Un.</th> <th>Total</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td align="center">1</td> <td align="center">LCTW40010502</td> <td align="center">DS-781BR 15KG RS232 BALANZA DIGI</td> <td align="right">213.5000</td> <td align="right">213.50</td> </tr> <tr> <td colspan="3"> <b>ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL 12.00 % del I.V.A.</b> </td> <td align="right"><b>TOTAL:</b></td> <td align="right"><b>213.50</b></td> </tr> </tbody> </table>				Cant.	Código	Descripción	Precio Un.	Total	1	LCTW40010502	DS-781BR 15KG RS232 BALANZA DIGI	213.5000	213.50	<b>ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL 12.00 % del I.V.A.</b>			<b>TOTAL:</b>	<b>213.50</b>
Cant.	Código	Descripción	Precio Un.	Total														
1	LCTW40010502	DS-781BR 15KG RS232 BALANZA DIGI	213.5000	213.50														
<b>ESTOS PRECIOS NO INCLUYEN EL 12.00 % del I.V.A.</b>			<b>TOTAL:</b>	<b>213.50</b>														
<b>INDICACIONES ESPECIALES</b>																		
GARANTIA: UN AÑO CONTRA DEFECTOS DE FABRICACION BALANZA DE MESA DE 15 KILOS DOBLE DISPLAY BAJO (OPERADOR Y CLIENTE) TIENE PUERTO A ETHERNETH RS232 PESO PRECIO PUEDE OPERAR CON PILAS MARCA DIGI																		
_____ <b>Aprobación del Cliente</b>		_____ <b>Fecha</b>																
		_____ <b>Vendedor</b>																
Nota: Comunicamos a nuestros Clientes que a partir del 1 de Enero del 2000, hemos sido designados, <b>CONTRIBUYENTES ESPECIALES</b> por el S.R.L., por lo tanto no procede aplicar retenciones del I.V.A.																		